

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-289126  
 (43)Date of publication of application : 14.10.2004

(51)Int.Cl. H01L 21/027  
 G03F 7/20

|                          |             |                 |  |
|--------------------------|-------------|-----------------|--|
| (21)Application number : | 2003-417259 | (71)Applicant : | ASML NETHERLANDS BV  |
| (22)Date of filing :     | 11.11.2003  | (72)Inventor :  | LOF JOERI<br>ANTONIUS THEODORUS<br>ANNA MARIA DERKSEN<br>HOOGENDAM CHRISTIAAN<br>ALEXANDER<br>KOLESNYCHENKO ALEKSEY<br>LOOPSTRA ERIK ROELOF<br>MODDERMAN THEODORUS<br>MARINUS<br>MULKENS JOHANNES<br>CATHARINUS HUBERTUS<br>RITSEMA ROELOF AEILKO<br>SIEBRAND<br>SIMON KLAUS<br>DE SMIT JOHANNES<br>THEODOOR<br>STRAAIJER ALEXANDER<br>STREEFKERK BOB<br>VAN SANTEN HELMAR |

## (30)Priority

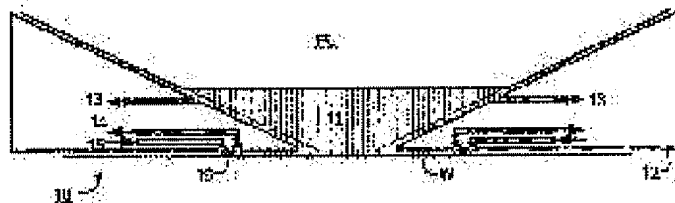
|                   |                                      |                 |                          |                    |          |
|-------------------|--------------------------------------|-----------------|--------------------------|--------------------|----------|
| Priority number : | 2002<br>02257822<br>2003<br>03252955 | Priority date : | 12.11.2002<br>13.05.2003 | Priority country : | EP<br>EP |
|-------------------|--------------------------------------|-----------------|--------------------------|--------------------|----------|

## (54) LITHOGRAPHY SYSTEM AND PROCESS FOR FABRICATING DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a lithography projector in which a space between a substrate and a projection system is filled with liquid while minimizing the quantity of the liquid required to be accelerated during a stage operation.

SOLUTION: In the lithography projector, the space between the final element of the projection system and the substrate table of the lithography projector is surrounded by a sealing member. A gas seal is formed between the sealing member and the plane of the substrate and the liquid is confined in that space.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

11.11.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-289126

(P2004-289126A)

(43) 公開日 平成16年10月14日 (2004.10.14)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>H01L 21/027  
G03F 7/20

F I

H01L 21/30 515D  
G03F 7/20 521  
H01L 21/30 516F

テーマコード (参考)

5F046

審査請求 有 請求項の数 29 O L 外国語出願 (全 54 頁)

(21) 出願番号 特願2003-417259 (P2003-417259)  
 (22) 出願日 平成15年11月11日 (2003.11.11)  
 (31) 優先権主張番号 02257822.3  
 (32) 優先日 平成14年11月12日 (2002.11.12)  
 (33) 優先権主張国 欧州特許庁 (EP)  
 (31) 優先権主張番号 03252955.4  
 (32) 優先日 平成15年5月13日 (2003.5.13)  
 (33) 優先権主張国 欧州特許庁 (EP)

(71) 出願人 502010332  
 エイエスエムエル ネザランドズ ベスロ  
 ーテン フェンノートシャップ  
 オランダ国 5503 エルエイ フェル  
 トホーフェン, デ ルン 1110  
 (74) 代理人 100066692  
 弁理士 浅村 皓  
 (74) 代理人 100072040  
 弁理士 浅村 肇  
 (74) 代理人 100072822  
 弁理士 森 徹  
 (74) 代理人 100080263  
 弁理士 岩本 行夫

最終頁に続く

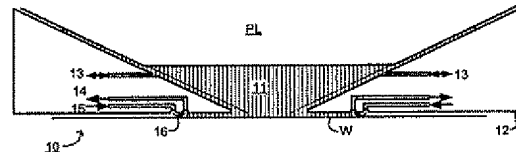
(54) 【発明の名称】 リソグラフィ装置およびデバイス製造方法

## (57) 【要約】

【課題】 ステージ動作の間に加速される必要のある液体の量を最小限にして、基板と投影システム間のスペースを液体で満たしたリソグラフィ投影装置を提供することを目的とする。

【解決手段】 リソグラフィ投影装置において、投影システムの最終素子とリソグラフィ投影装置の基板テーブル間のスペースをシール部材にて囲む。該シール部材と該基板の面間においてガスシールが形成され、このスペースに液体を封じ込める。

【選択図】 図2



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

- 放射線の投影ビームを供給する放射線システムと、
- 所望するパターンに従って投影ビームをパターン化するパターンニング手段を支持する支持構造と、
- 基板を保持する基板テーブルと、
- パターン化されたビームを基板の目標部分に投影する投影システムと、
- 該投影システムの最終素子と該基板間のスペースを少なくとも部分的に液体で満たす液体供給システムとから成るリソグラフィ投影装置において、該液体供給システムは、
- 上記投影システムの最終素子と上記基板テーブル間の上記スペースの少なくとも境界 10
- の部分に沿って伸長したシール部材と、
- 該シール部材と該基板の表面間においてガスシールを形成するガスシール手段とにより構成されることを特徴とするリソグラフィ投影装置。

## 【請求項 2】

上記のガスシール手段は、上記基板上にて上記シール部材を支持するガスベアリングであることを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

## 【請求項 3】

上記のガスシール手段は、上記基板に対向した上記シール部材の面に形成されたガス導入口および第一ガス導出口と、該導入口に加圧下にてガスを供給する手段と、該第一ガス導出口からガスを抽出する真空手段とにより構成されていることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の装置。 20

## 【請求項 4】

ガスソースに連結した、上記第一ガス導出口と上記ガス導入口間に配置されたさらなる導入口をさらに備えていることを特徴とする請求項 3 に記載の装置。

## 【請求項 5】

上記のさらなる導入口は、上記基板に面した上記シール部材の面における連続した環状の溝から成ることを特徴とする請求項 4 に記載の装置。

## 【請求項 6】

上記の溝の放射状の最も内側のコーナーは半径を有することを特徴とする請求項 5 に記載の装置。 30

## 【請求項 7】

上記の第一ガス導出口は、上記基板に面した上記シール部材の面における連続した環状の溝から成ることを特徴とする請求項 3 から 6 のいずれか 1 項に記載の装置。

## 【請求項 8】

上記の第一ガス導出口および／または上記のガス導入口は、上記供給の手段と上記真空手段間のそれぞれのチャンバと、上記表面における導入口あるいは導出口の開口から成り、チャンバは該開口よりも低い流量制限をもたらすことを特徴とする請求項 3 から 7 のいずれか 1 項に記載の装置。

## 【請求項 9】

上記のガス導入口は、上記基板に面した上記シール部材の面における一続きの別々の開口からなることを特徴とする請求項 3 から 8 のいずれか 1 項に記載の装置。 40

## 【請求項 10】

ガス導入口の領域にガスの流れを均等に分配するよう、該ガス導入口に多孔質部材が配置されることを特徴とする請求項 3 から 9 のいずれか 1 項に記載の装置。

## 【請求項 11】

上記のガスシール手段は、上記基板に対向した上記シール部材の上記面に形成された第二ガス導出口をさらに備え、上記第一ガス導出口および該第二ガス導出口は上記ガス導入口の両側に形成されることを特徴とする請求項 3 から 10 のいずれか 1 項に記載の装置。

## 【請求項 12】

上記面の残り部分に対して、上記第一ガス導出口と上記ガス導入口間における上記面の 50

部分のレベルを変える手段をさらに備えていることを特徴とする請求項 3 から 11 のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 13】

該装置は、上記面の残り部分に対して、上記第一ガス導出口と上記光軸に最も近い面のエッジ間における上記面の部分のレベルを変える手段をさらに備えていることを特徴とする請求項 3 から 12 のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 14】

上記のガスシール手段は、上記第一ガス導出口よりも投影システムの光軸に近くに位置して、上記面に形成されるチャネルを備えていることを特徴とする請求項 3 から 13 のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 15】

上記のチャネルは第二ガス導入口であることを特徴とする請求項 14 に記載の装置。

【請求項 16】

上記のチャネルは、上記スペースにおける液面の上の環境に開いていることを特徴とする請求項 15 に記載の装置。

【請求項 17】

上記のガス導入口は、上記投影システムの光軸から、上記第一ガス導出口よりもさらに外側に配置されていることを特徴とする請求項 3 から 16 のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 18】

上記のガス導入口およびガス導出口は、それぞれ該基板に対向した該シール部材の該面における溝と、間隔をとって配置された該溝に導かれる複数の導管とから成ることを特徴とする請求項 3 から 17 のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 19】

上記シール部材の上記面と、上記基板および／または上記基板のトポロジー間の距離を測定するセンサーをさらに備えていることを特徴とする請求項 1 から 18 のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 20】

上記シール部材と上記基板間の剛性、および／または、上記シール部材と上記基板間の距離を調整するために、上記ガスシール手段におけるガスの圧力を調節する調整手段をさらに備えていることを特徴とする請求項 1 から 19 のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 21】

毛管作用によりギャップ内に液体を引き込むよう、かつ／またはガスシール部材からのガスが上記投影システムと上記基板間の上記スペースに入るのを防ぐよう、上記シール部材と上記ガスシール手段の内側にある該基板の面との間のギャップは小さいことを特徴とする前記請求項のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 22】

上記シール部材は、上記投影システムと上記基板間の上記スペースを囲んで閉ループを形成することを特徴とする前記請求項のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 23】

— 放射線の投影ビームを供給する放射線システムと、  
— 所望するパターンに従って投影ビームをパターン化するパターンニング手段を支持する支持構造と、  
— 基板を保持する基板テーブルと、  
— パターン化されたビームを基板の目標部分に投影する投影システムと、  
— 該投影システムの最終素子と該基板間のスペースを少なくとも部分的に液体で満たす液体供給システムとから成るリソグラフィ投影装置において、該スペースはダクトを通して液体リザーバと液体にて連結を行っており、流体の流れ方向に垂直な面における該ダクトの最小断面領域は少なくとも、

10

20

30

40

【数 1】

$$\pi \left( \frac{8 \Delta V \eta L}{\pi \Delta P_{\max} t_{\min}} \right)^{1/2}$$

となり、 $\Delta V$ は時間  $t_{\min}$  内に該スペースから取り除かれなくてはならない液体の量であり、 $L$ はダクト長であり、 $\eta$ は該スペースにおける液体の粘度であり、そして $\Delta P_{\max}$ は該最終素子にかかる最大許容圧力であることを特徴とするリソグラフィ投影装置。

【請求項 2 4】

上記スペースに液体があるときに、該液体が自由な上面を有さないように該スペースが密閉されていることを特徴とする請求項 2 3 に記載の装置。 10

【請求項 2 5】

一 放射線の投影ビームを供給する放射線システムと、  
一 所望するパターンに従って投影ビームをパターン化するパターンニング手段を支持する支持構造と、  
一 基板を保持する基板テーブルと、  
一 パターン化されたビームを基板の目標部分に投影する投影システムと、  
一 該投影システムの最終素子と該基板間のスペースを少なくとも部分的に液体で満たす液体供給システムとから成るリソグラフィ投影装置において、該液体供給システムはさらに、該液体供給システムにおける液体の最上面において、波の発生を抑え、かつ、圧力解除手段を含む抑制手段を備えていることを特徴とするリソグラフィ投影装置。 20

【請求項 2 6】

上記の抑制手段は可とう性のある膜からなることを特徴とする請求項 2 5 に記載の装置。

【請求項 2 7】

上記の抑制手段はメッシュからなり、上記液体の上記最上面の最大領域がメッシュの開口に等しいことを特徴とする請求項 2 5 または 2 6 に記載の装置。

【請求項 2 8】

上記の抑制手段は安全弁を備え、特定の圧力により液体を通過させることを特徴とする請求項 2 5、2 6、または 2 7 に記載の装置。 30

【請求項 2 9】

上記の抑制手段は、上記液体と非混和性である高粘度の液体であることを特徴とする請求項 2 5 に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、  
一 放射線の投影ビームを供給する放射線システムと、  
一 所望するパターンに従って投影ビームをパターン化するパターンニング手段を支持する支持構造と、  
一 基板を保持する基板テーブルと、  
一 パターン化されたビームを基板の目標部分に投影する投影システムと、  
一 該投影システムの最終素子と該基板間のスペースを少なくとも部分的に液体で満たす液体供給システムとから成るリソグラフィ投影装置に関する。 40

【背景技術】

【0002】

本明細書において使用する「パターンニング手段」なる用語は、入射する放射線ビームに、基板の目標部分に作り出されるべきパターンと一致するパターン化断面を与えるために使用し得る手段に当たるものとして広義に解釈されるべきである。また、「ライトバルブ 50

」なる用語もこうした状況において使用される。一般的に、上記のパターンは、集積回路や他のデバイス（以下を参照）であるような、デバイスにおいて目標部分に作り出される特別な機能層に相当する。そのようなパターンニング手段には以下が含まれる。すなわち、  
一 マスク。マスクの概念はリソグラフィにおいて周知のものであり、これには、様々なハイブリッドマスクタイプのみならず、バイナリマスク、レベンソンマスク、減衰位相シフトマスクといったようなマスクタイプも含まれる。放射線ビームにこのようなマスクを配置することにより、マスクに照射する放射線の、マスクパターンに従う選択的透過（透過性マスクの場合）や選択的反射（反射性マスクの場合）を可能にする。マスクの場合、その支持構造は一般的に、入射する放射線ビームの所望する位置にマスクを保持しておくことが可能であり、かつ、必要な場合、ビームに対して運動させることの可能なマスクテーブルである。

10

一 プログラマブルミラーアレイ。このようなデバイスの一例として、粘弾性制御層および反射面を有するマトリクスアドレス可能面があげられる。こうした装置の基本的原理は、（例えば）反射面のアドレスされた領域は入射光を回折光として反射するが、アドレスされていない領域は入射光を非回折光として反射するといったことである。適切なフィルタを使用することにより、回折光のみを残して上記非回折光を反射ビームからフィルタすることが可能である。この方法において、ビームはマトリクスアドレス可能面のアドレスパターンに従ってパターン形成される。プログラマブルミラーアレイのまた別の実施形態では小さな複数のミラーのマトリクス配列を用いる。そのミラーの各々は、適した局部電界を適用することによって、もしくは圧電作動手段を用いることによって、軸を中心に個々に傾けられている。もう一度言うと、ミラーはマトリクスアドレス可能であり、それによりアドレスされたミラーはアドレスされていないミラーとは異なる方向に入射の放射線ビームを反射する。このようにして、反射されたビームはマトリクスアドレス可能ミラーのアドレスパターンに従いパターン形成される。必要とされるマトリクスアドレッシングは適切な電子手段を用いて実行される。前述の両方の状況において、パターンニング手段は1つ以上のプログラマブルミラーアレイから構成可能である。ここに参照を行ったミラーアレイに関するより多くの情報は、例えば、米国特許第US 5, 296, 891号および同第US 5, 523, 193号、並びに、PCT特許種出願第WO 98/38597および同WO 98/33096に開示されているので詳細は、これらの内容を参照されたい。プログラマブルミラーアレイの場合、上記支持構造は、例えばフレームもしくはテーブルとして具体化され、これは必要に応じて、固定式となるか、もしくは可動式となる。

20

30

一 プログラマブルLCDアレイ。このような構成の例が米国特許第US 5, 229, 872号に開示されているので詳細は、この内容を参照されたい。上記同様、この場合における支持構造も、例えばフレームもしくはテーブルとして具体化され、これも必要に応じて、固定式となるか、もしくは可動式となる。簡潔化の目的で、本文の残りを、特定の箇所において、マスクおよびマスクテーブルを必要とする例に限定して説明することとする。しかし、こうした例において論じられる一般的な原理は、既に述べたようなパターンニング手段のより広範な状況において理解されるべきである。

#### 【0003】

リソグラフィ投影装置は例えば、集積回路（IC）の製造において使用可能である。この場合、パターンニング手段はICの個々の層に対応する回路パターンを生成する。そして、放射線感光原料（レジスト）の層が塗布された基板（シリコンウェハ）上の目標部分（例えば1つあるいはそれ以上のダイから成る）にこのパターンを像形成することが出来る。一般的に、シングルウェハは、投影システムを介して1つずつ順次照射される近接目標部分の全体ネットワークを含んでいる。マスクテーブル上のマスクによるパターンニングを用いる現在の装置は、異なる2つのタイプのマシンに区分される。リソグラフィ投影装置の一タイプでは、全体マスクパターンを目標部分に1回の作動にて露光することによって各目標部分が照射される。こうした装置は一般的にウェハステッパと称されている。ステッパアンドスキャン装置と称される別の装置では、所定の基準方向（「スキャニング」方向）にマスクパターンを投影ビームで徐々にスキャニングし、これと同時に基板テーブル

40

50

をこの方向と平行に、あるいは反平行にスキヤニングすることにより、各目標部分が照射される。一般的に、投影装置は倍率係数 $M$ （一般的に、 $<1$ ）を有することから、基板テーブルが走査される速度 $V$ は、マスクテーブルが走査される速度の係数 $M$ 倍となる。ここに記載を行ったリソグラフィデバイスに関するさらなる情報は、参考までに記載を行うと、例えば、米国特許第US 6, 046, 792号から得ることが出来る。

#### 【0004】

リソグラフィ投影装置を使用する製造工程において、パターン（例えばマスクにおける）は少なくとも部分的に放射線感光材（レジスト）の層で覆われた基板上に像形成される。この像形成ステップに先立ち、基板は、プライミング、レジスト塗布、およびソフトベークといったような各種の工程を経る。露光後、基板は、ポストベーク（PEB）、現像、ハードベーク、および像形成フューチャの測定／検査といったような他の工程を通る。この工程の配列は、例えばICといったような素子の個々の層をパターン化するための基準として使用される。このようなパターン形成された層は、それから、全て個々の層を仕上げる目的である、エッチング、イオン注入（ドーピング）、メタライゼーション、酸化、化学機械的研磨等といった種々のプロセスを経る。数枚の層が必要とされる場合には、全体工程、もしくはその変形をそれぞれの新しい層に繰り返す必要がある。最終的に、素子のアレイが基板（ウェハ）上に形成される。次に、これらの素子はダイシングやソーイングといったような技法で相互より分離される。それから個々の素子は、キャリアに装着されたり、ピンに接続されたりし得る。こうした工程に関するさらなる情報は、1997年にマグローヒル出版会社より刊行された、Peter van Zant 著、「マイクロチップ製造：半導体処理に対する実用ガイド」という名称の書籍（“Microchip Fabrication: A Practical Guide to Semiconductor Processing”）の第3版、ISBN 0-07-067250-4に記載されているので詳細はこの内容を参照されたい。

#### 【0005】

簡潔化の目的で、これより投影システムを「レンズ」と称するものとする。しかし、この用語は、例えば屈折光学システム、反射光学システム、および反射屈折光学システムを含むさまざまなタイプの投影システムを網羅するものとして広義に解釈されるべきである。放射線システムはまた、放射線の投影ビームの誘導、成形、あるいは制御を行う、こうした設計タイプのいずれかに応じて稼動する構成要素も備えることが出来る。こうした構成要素もまた以降において集約的に、あるいは単独的に「レンズ」と称する。さらに、リソグラフィ装置は2つあるいはそれ以上の基板テーブル（および、あるいは2つもしくはそれ以上のマスクテーブル）を有するタイプのものである。このような「多段」デバイスにおいては、追加のテーブルが並列して使用される。もしくは、1つ以上の他のテーブルが露光に使用されている間に予備工程が1つ以上のテーブルにて実行される。例えば、参考までに、デュアルステージリソグラフィ装置について、米国特許第US 5, 969, 441号および国際特許出願第WO 98/40791号において記載がなされている。

#### 【0006】

投影システムの最終素子と基板間のスペースを満たすように、例えば水といったような、比較的高い屈折率を有する液体にリソグラフィ投影装置における基板を浸すことが提案されている。これにおけるポイントは、露光放射線は液体においてより短い波長を有するため、より小さいフィーチャを結像可能にすることである。（液体の効果でシステムにおける有効NAも増すと考えられる。）

#### 【0007】

しかし、基板テーブルを液体に浸すことは、走査露光中に加速されなくてはならない多量の液体があることを意味する。これは追加の、あるいはより強力なモータを必要とし、液体における乱流が望ましからざる、かつ予測し得ない影響をもたらす。

#### 【0008】

リソグラフィ投影装置に液体を有することに関していくつかの困難がある。例えば液体を流出させることは、干渉計により干渉することによって、かつ、リソグラフィ投影装置

10

20

30

40

50



においてビームを真空中に保つ必要がある場合、その真空を破壊することによって問題を生じる。さらには、適切な予防策がとられないままに液体はかなりの割合で使用される。

【0009】

液浸リソグラフィに関連するさらなる問題に、液体の深度を一定に保つことにおける困難さや、結像位置、すなわち最終投影システム素子の下への基板の搬送、またその結像位置からの搬送における困難さが含まれる。また、液体の汚染（液体に溶解した化学物質による）、および液体の温度の上昇は達成可能な結像品質に有害な影響を及ぼす。

【0010】

何らかの理由による、コンピュータの故障、電源障害、あるいは装置の制御ロスの際に、特に投影システムの光学素子を保護するための工程を実行する必要がある。また、装置の他の構成要素に液体がこぼれるのを防止する工程をもうける必要がある。

10

【0011】

液体供給システムが、液体が自由面を有する場合において使用される場合、液体供給システムに加えられる力によりその自由面に波が発生するのを防ぐための工程を実行する必要がある。波は動作基板から投影システムに振動を伝えうる。

【0012】

国際特許出願番号W O 9 9 / 4 9 5 0 4号において、液体が投影レンズとウェハ間のスペースに供給されるリソグラフィ装置が開示されている。ウェハがレンズの下でX方向に走査されるとき、液体はレンズの+Xサイドにて供給され、-Xサイドで取り上げられる。

20

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

本発明は、ステージ動作の間に加速される必要のある液体の量を最小限にして、基板と投影システム間のスペースを液体で満たしたリソグラフィ投影装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0014】

本目的並びに他の目的は、冒頭の段落にて特定したようなリソグラフィ投影装置において、本発明に従い達成される。ここで、上記の液体供給システムは、

30

- 上記投影システムの最終素子と上記基板テーブル間の上記スペースの少なくとも境界の部分に沿って伸長したシール部材と、
- 該シール部材と該基板の表面間においてガスシールを形成するガスシール手段とから構成される。

【0015】

ガスシール手段はこのようにしてシール部材と基板間において非接触シールを形成することから、例えば走査露光中に、投影システムの下で基板が動作するときであっても、液体は投影システムの最終素子と基板間のスペースに封じ込まれる。

【0016】

シール部材は、スペースを囲む、円形、長方形、もしくは他の形状のいずれかの閉ループ形状をなすか、あるいは、例えばU型の形状、またはスペースの一方サイドに沿って伸長しただけの閉じていない形状も可能である。シール部材が閉じていない場合、基板が投影システムの下で走査されるとき、シール部材は液体を閉じ込めるように配置される。

40

【0017】

好ましくは、ガスシール手段は、該シール部材を支持するガスベアリングである。これは、液体供給システムの同一部分が、ベアリングと、そして、投影システムの最終素子と基板間のスペースにおける液体のシーリングの両方に使用可能であり、それによりシール部材の複雑さと重量を減じるという長所を有する。また、真空環境においてのガスベアリングの使用から得られた以前の経験を生かすことが出来る。

【0018】

50

好ましくは、ガスシール手段は、上記基板に対向した該シール部材の面に形成されたガス導入口および第一ガス導出口と、該導入口に加圧下にてガスを供給する手段と、該第一ガス導出口からガスを抽出する真空手段とにより構成される。さらに望ましくは、ガス導入口は上記投影システムの光軸から該第一ガス導出口よりもさらに外側に配置される。このようにしてガスシールにおけるガスの流れは内側に向き、最も効果的に液体を封じ込める。この場合、ガスシール手段は有利に、基板に対向したシール部材の面に形成された第二ガス導出口をさらに備え、第一ガス導出口および第二ガス導出口はガス導入口の両側に形成される。第二ガス導出口は、ガス導入口からシール部材を囲む環境に抜け出すガスを最小限に抑えることを可能にする。よって、抜け出る、干渉計により干渉する、あるいはリソグラフィ装置における真空を低下させるといったガスのリスクは最小限に抑えられる

10

#### 【0019】

液体供給システムは、シール部材の面と、基板および／または基板の最上面のトポロジ一間の距離を測定するセンサーをも備えている。このようにして調整手段は、例えばガスシール手段をフィードフォワード方式あるいはフィードバック方式にて調整することでシール部材の面と基板間の距離を変えるために使用され得る。

#### 【0020】

該装置は、第一ガス導出口と光軸に最も近い面のエッジとで該シール部材の該面の部分のレベルを面の残り部分に対して変える手段をさらに備えている。これは、スペース内に液体を封じ込める圧力の調整が導入口の下での圧力の調整とは別になされるようにすることで、スペース内に液体を保持する力のバランスを乱すことなく基板上のシール部材の高さを調整することが可能である。これを可能にするまた別の方法は、第一ガス導出口または第二ガス導出口とガス導入口間の面の部分のレベルを面の残り部分に対して変えるための手段を使用することである。これら3つのシステムはどのような組み合わせでも使用可能である。

20

#### 【0021】

ガスシール手段のシーリング機能とベアリング機能を分けるまた別の方法は、第一ガス導出口よりも投影システムの光軸の近くに位置して、シール部材の面に形成されるチャネルを設けることである。このチャネルの圧力は、スペース内に液体を封じ込めるように変えることが可能である一方、ガス導入口およびガス導出口は基板上のシール部材の高さを

30

変えるために使用可能であることから、これらはシール部材を支持するためにのみ作用し、シーリング機能は、たとえあったとしても、ほんのわずかでしかない。

#### 【0022】

さらに有利なフューチャは、ガスの流れをガス導入口の領域に均等に分配する目的でガス導入口に配置される多孔質部材である。

#### 【0023】

これは、ガス導入口およびガス導出口を形成するのに好都合であり、ガス導入口の各々は該基板に対向した該シール部材の該面における溝と、間隔をとって配置された該溝に導かれる複数の導管とから成る。

#### 【0024】

また、毛管作用でギャップ内に液体を引き込むよう、かつ／あるいはガスシール部材からのガスが該スペースに入るのを防止するよう、該シール部材と該ガスシール手段の内側にある該基板の面との間のギャップは小さいことが望ましい。シール部材の下に液体を引き込む毛管作用とそれを押し出すガスの流れとの間のバランスによってとりわけ安定したシールを形成する。

40

#### 【0025】

基板と投影システム間のスペースを液体で満たし、基板と投影システム間の外乱の伝わりを最小限におさえるリソグラフィ投影装置を提供することをさらなる目的とする。

#### 【0026】

本目的並びに他の目的は、冒頭の段落で特定したようなリソグラフィ装置において本発

50

明に従って達成される。ここで、該スペースはダクトを通して液体リザーバと液体にて連結を行っており、流体の流れ方向に垂直な面における該ダクトの最小断面領域は少なくとも、

【数 1】

$$\pi \left( \frac{8\Delta V \eta L}{\pi \Delta P_{\max} t_{\min}} \right)^{1/2}$$

となり、 $\Delta V$ は時間  $t_{\min}$  内に該スペースから取り除かれなくてはならない液体の量であり、 $L$ はダクト長であり、 $\eta$ は該スペースにおける液体の粘度であり、そして  $\Delta P_{\max}$  は該最終素子にかかる最大許容圧力である。 10

【0027】

この装置は、液体が、波の発生する大きな自由面を有さないように、完全に抑制されることができるといふ長所を有する。すなわち、スペースあるいはリザーバは最上部でエンクローズされ、リザーバは液体で満たされている。これは、所定の時間内（実験的に計測されたクラッシュの時間）にダクトを通して流出可能な流体の量が、装置のクラッシュの際に投影システムの最終素子への損傷が回避され得るほど十分に多いことから、スペース内の圧力が損傷を発生させるレベルに達する前にダクトを通り液体が抜け出すことが出来るからである。シール部材が最終素子に対して動作するとき、液体は抜け出さなくてはならない。そうしないと、シール部材に対する最終素子の相対動作の間に最終素子にかかる 20 静水圧が最終素子に損傷を与えることとなる。

【0028】

本発明の別の態様において、冒頭の段落において特定したようなリソグラフィ装置が提供される。ここで、液体供給システムはさらに、該液体供給システムにおける液体の最上面において、波の発生を抑える、かつ、圧力解除手段を含む抑制手段を備える。

【0029】

このようにして抑制手段が液体の最上面と接触することにより波の発生が抑えられる。しかし、クラッシュの際に最終素子への損傷を回避するため、なおかつ液体はこのスペースから抜け出すことが出来る。 30

【0030】

抑制手段を提供する一つの方法は可とう性のある膜を通すか、あるいはスペース内の液体と非混和性の高粘度の液体をスペース内の液体最上面に置くことである。これらの各場合において、抑制手段の可とう性により圧力解除機能がもたらされる。

【0031】

本発明の別の態様において、

- 放射線感光材料の層により少なくとも部分的に覆われた基板を提供するステップと、
  - 放射線システムを用いて放射線の投影ビームを供給するステップと、
  - パターニング手段を用いて投影ビームのその断面にパターンを与えるステップと、
  - 放射線感光材料の層の目標部分に放射線のパターン化されたビームを投影するステップと、
  - 基板と、上記投影ステップにおいて使用される投影システムの最終素子間のスペースを満たすように液体を供給するステップとからなるデバイス製造方法が提供され、
  - 該スペースの少なくとも境界の部分に沿って伸長したシール部材と該基板の表面間においてガスシールを形成するか、あるいは、
  - ダクトを通して該スペースと液体にて連結する液体リザーバを提供するかのいずれかであって、
  - 該ダクトは、
- 40

【数 2】

$$\pi \left( \frac{8 \Delta V \eta L}{\pi \Delta P_{\max} t_{\min}} \right)^{1/2}$$

の液体の流れ方向に垂直な面において最小の断面領域を有しており、ここで、 $\Delta V$ は時間  $t_{\min}$  内に該スペースから取り除かれなくてはならない液体の量であり、 $L$ はダクト長であり、 $\eta$ は該スペースにおける液体の粘度であり、そして $\Delta P_{\max}$ は該最終素子上の最大許容圧力であることを特徴とし、あるいは、

一 抑制手段によって該液体の波の発生を抑制し、かつ、該液体の圧力を解除させることを特徴とする。 10

【0032】

本発明による装置の使用法に関して、本文ではICの製造において詳細なる参照説明を行うものであるが、こうした装置が他の多くの用途においても使用可能であることは明確に理解されるべきである。例えば、本発明による装置は、集積光学装置、磁気ドメインメモリ用ガイダンスおよび検出パターン、液晶ディスプレイパネル、薄膜磁気ヘッド等の製造に使用され得る。こうした代替的な用途においては、本文にて使用した「レチクル」、「ウェハ」、「ダイ」といった用語は、それぞれ「マスク」、「基板」、「目標部分」といった、より一般的な用語に置き換えて使用され得ることは当該技術分野の専門家にとって明らかである。 20

【0033】

本明細書において使用した「放射線」および「ビーム」という用語は、イオンビームあるいは電子ビームといったような粒子ビームのみならず、紫外線（例えば、365nm、248nm、193nm、157nm、あるいは126nmの波長を有する）を含むあらゆるタイプの電磁放射線を網羅するものである。

【0034】

本発明の実施例についての詳細説明を、添付の図面を参照に、例示の方法においてのみ行うものとする。全図を通して同様部品には、同様の参照番号を含むものとする。

【実施例1】

【0035】

図1は、本発明の独自の実施形態に基づくリソグラフィ投影装置を示したものである。この装置は、特別な本実施形態において放射線源LAも備えた、放射線の投影ビームPB（例えばDUV放射線）を供給する放射線システムEx、ILと、マスクMA（例えばレチクル）を保持するマスクホルダーW備え、かつ、品目PLに対して正確にマスクの位置決めを行う第一位置決め手段に連結を行った第一オブジェクト・テーブル（マスクテーブル）MTと、基板W（例えば、レジスト塗布シリコンウェハ）を保持する基板ホルダーを備え、かつ、品目PLに対して正確に基板の位置決めを行う第二位置決め手段に連結を行った第二オブジェクト・テーブル（基板テーブル）WTと、マスクMAの照射部分を、基板Wの目標部分C（例えば、1つあるいはそれ以上のダイから成る）に像形成する投影システム（「レンズ」）PL（例えば反射屈折レンズシステム）とにより構成されている。ここで示しているように、この装置は透過タイプ（すなわち透過マスクを有する）である。しかし、一般的には、例えば反射マスクを有する反射タイプのものも可能である。あるいは、本装置は、上記に関連するタイプであるプログラマブルミラーアレイといったような、他の種類のパターンニング手段も使用可能である。 40

【0036】

ソースLA（例えばエキシマレーザー）は放射線のビームを作り出す。このビームは、直接的に、あるいは、例えばビームエキスパンダーExといったようなコンディショニング手段を横断した後に、照明システム（照明装置）ILに供給される。照明装置ILは、ビームにおける強度分布の外部かつ／あるいは内部放射範囲（一般的にそれぞれ、outerおよびinnerに相当する）を設定する調整手段AMから成る。さらに、 50

照明装置 I L は一般的に積分器 I N およびコンデンサ C O といったような、他のさまざまな構成要素を備える。このようにして、マスク M A に照射するビーム P B は、その断面に亘り所望する均一性と強度分布とを有する。

#### 【0037】

図 1 に関して、ソース L A はリソグラフィ装置のハウジング内にある（これは例えばソースが水銀ランプである場合に多い）が、しかし、リソグラフィ投影装置から離して配置することも可能であることを注記する。この場合、ソース L A が作り出す放射線ビームは（適した誘導ミラーにより）装置内に導かれる。この後者のシナリオでは、ソース L A がエキシマレーザーである場合が多い。本発明および請求項はこれら両方のシナリオを網羅するものである。

10

#### 【0038】

続いてビーム P B はマスクテーブル M T 上に保持されているマスク M A に入射する。ビーム P B はマスク M A を横断して基板 W の目標部分 C 上にビーム P B の焦点を合わせるレンズ P L を通過する。第二位置決め手段（および干渉計測手段 I F）により、基板テーブル W T は、例えばビーム P B の経路における異なる目標部分 C に位置を合わせるために正確に運動可能である。同様に、第一位置決め手段は、例えばマスクライブラリからマスク M A を機械的に検索した後、あるいは走査運動の間に、ビーム P B の経路に対してマスク M A を正確に位置決めするように使用可能である。一般的に、オブジェクト・テーブル M T およびオブジェクト・テーブル W T の運動はロングストロークモジュール（粗動位置決め）およびショートストロークモジュール（微動位置決め）にて行われる。これについ

20

#### 【0039】

ここに表した装置は 2 つの異なるモードにて使用可能である。

一 ステップモードにおいて、マスクテーブル M T は基本的に静止状態に保たれている。そして、マスクの像全体が 1 回の作動（すなわち 1 回の「フラッシュ」）で目標部分 C に投影される。次に基板テーブル W T が x 方向および／あるいは y 方向にシフトされ、異なる目標部分 C がビーム P B により照射され得る。

一 スキャンモードにおいて、基本的に同一シナリオが適用されるが、但し、ここでは、所定の目標部分 C は 1 回の「フラッシュ」では露光されない。代わって、マスクテーブル M T が、速度  $v$  にて所定方向（いわゆる「走査方向」、例えば y 方向）に運動可能であり、それによってビーム P B がマスクの像を走査する。これと同時に、基板テーブル W T が速度  $V = Mv$  で、同一方向あるいは反対方向に運動する。ここで、 $M$  はレンズ P L の倍率（一般的に  $M = 1/4$  あるいは  $1/5$ ）である。このように、解像度を妥協することなく、比較的大きな目標部分 C を露光することが可能となる。

30

#### 【0040】

図 2 は、投影システムと基板ステージ間における液体リザーバ 10 を示したものである。液体リザーバ 10 には、導入／導出ダクト 13 を介して、例えば水であるような比較的高い屈折率を有する液体 11 が満たされている。液体の効果は、投影ビームの放射線が空気や真空におけるよりも、液体にてより短い波長を有し、より小さいフィーチャの解像を可能にすることにある。投影システムの解像度限界は、とりわけ投影ビームの波長、およびシステムの開口数によって決定する。液体の存在も有効開口数を増すと考えられる。さらに、液体は固定の開口数で被写界深度を増すのに効果的である。

40

#### 【0041】

リザーバ 10 は、投影システムのイメージフィールドのまわりに基板に対する非接触シールを形成しており、基板表面と投影システムの最終素子間のスペースをうめるように液体が閉じ込められている。リザーバは投影システム P L の最終素子の下で、これを囲んで配置されたシール部材 12 から形成されている。液体が投影システムの下のシール部材 12 内のスペースに入れられる。これでシール部材 12 は投影システムの最終素子を少し超

50

えて伸長しており、液面は最終素子まで上がって液体のバウファがもたらされる。シール部材 12 は、上端部で、投影システムのステップもしくはその最終素子に、好ましくきっちりと一致する内周を有しており、そして、例えば丸くても良い。底部において、内周は、これに限るわけではないが例えば長方形のイメージフィールドの形状にきっちりと一致する。

#### 【0042】

液体は、シール部材 12 の底部と基板 W 表面間のガスシール 16 によってリザーバに閉じ込められる。ガスシールは、例えば空気や合成エアといったようなガス、しかし好ましくは  $N_2$  もしくは他の不活性ガスにより形成される。こうしたガスは、導入口 15 を介してシール部材 12 と基板間のギャップに加圧下で供給され、第一導出口 14 により抽出される。ガス導入口 15 への過圧、第一導出口 14 の真空レベル、およびギャップのジオメトリは、液体を閉じ込める内部への高速の空気流が生じるように調整される。これを図 3 においてより詳細に示している。

10

#### 【0043】

ガスシールは 2 つの環状の溝 18、19 から形成されており、これらの環状の溝は、溝のまわりにスペースをとって連続した小さなコンダクト (conduct) により、それぞれ第一導入口 15 と第一導出口 14 に連結している。導入口 15 と導出口 14 は、シール部材 24 の外周を囲む複数の別々のオリフィスであるか、あるいは連続した溝またはスリットである。シール部材に大きな環状のくぼみが導入口と導出口各々に設けられ、マニホールドを形成する。ガスシールはガスベアリングとして作用することにより、シール部材 12

20

#### 【0044】

ガス導入口 15 の外側にあるギャップ G1 は、外側に向かう空気の流れに対して抵抗を与えるように小さく、かつ長いほうが好ましいが、必ずしもそうである必要はない。シール部材のまわりの多数の小さな穴により形成された導入口 15 の半円上端のギャップ G2 は少し大きく、シール部材のまわりのガスを確実に十分に分布させる。ギャップ G3 はシールを通るガスの流れをコントロールするように選択される。ギャップ G4 は真空の分布がうまくなされるように大きくなっている。導出口 14 は、導入口 15 と同様の方法にて多数の小さな穴により形成されている。ギャップ G5 は、スペース内の液体にガス/酸素が拡散するのを防ぐよう、かつ、多量の液体が入って真空を妨げるのを回避するよう、かつ、毛管現象により常にこれを確実に液体で満たすよう小さくなっている。

30

#### 【0045】

このように、ガスシールは、ギャップに液体を引き込む毛管力と液体を押し出す空気流間のバランスである。ギャップが G5 から G4 に広くなると毛管力を減じ、空気の流れが増すことによって、液体の境界線がこの領域となり、投影システム PL 下で基板が動くときでさえ安定する。

#### 【0046】

ギャップ G3 のサイズおよびジオメトリのみならず、G2 における導入口と G4 における導出口間の圧力差がシール 16 を通るガスの流量を決定し、この圧力差は具体的な実施形態に従って決定される。一方、ギャップ G3 の長さが短く、G2 における絶対圧力が G4 における絶対圧力の 2 倍である場合、かなりの効果が達せられる。この場合、ガス速度はガスにおける音の速度であり、これ以上は上がらない。ゆえに安定したガスの流れを達成する。

40

#### 【0047】

ガス導出系は、ガス導入圧を減じて液体をギャップ G4 に入らせて、そして真空システムによって吸い出すことにより、システムから液体を完全に排除する際にも使用され得る。これはシールを形成するために用いられるガスと同様、液体を取扱うためにも容易に調整が可能である。ガスシールの圧力調整は、基板が動作するとき摩擦によって熱せられるギャップ G5 の液体が投影システムの下のスペースの液体温度を乱さないよう、ギャップ G5 を通る液体を確実に流動させるためにも用いられる。

50

## 【0048】

ガス導入口および導出口のまわりのシール部材の形状は、乱流と振動を減じるべく、出来るだけ層流をもたらすように選択されるべきである。また、ガスの流れは、液体を閉じ込める最大力をもたらすべく、液体の界面における流れ方向の変化が出来るだけ大きくなるように調整されるべきである。

## 【0049】

液体供給システムはリザーバ10の液体を循環させ、それにより新鮮な液体をリザーバ10に供給する。

## 【0050】

ガスシール16はシール部材12を支持するのに十分な大きさの力を作り出すことが可能である。実際に、シール部材12により支持される有効重量をあげるために、シール部材12を基板方向にバイアスする必要がある。シール部材12は、いずれの場合でも、投影システムに対して、かつこの下で実質的に静止位置においてXY面（光軸に垂直）に保持されるが、投影システムから切り離される。シール部材12はZ方向、RxおよびRyに自由に動く。

## 【実施例2】

## 【0051】

図4および図5において第2実施例を示している。第2実施例は以下に記載の内容を除いて第1実施例と同様である。

## 【0052】

この実施例において、第一ガス導出口14に対して、ガス導入口15の向かい側に第二ガス導出口216が設けられる。この方法において、装置の光軸から外側へガス導入口15から抜け出るガスは、真空ソースに連結した第二導出口216により吸い上げられる。このようにして、ガスが、例えば干渉計読取り、あるいは、投影システムおよび／または基板が収容されている真空と干渉不可能であるよう、ガスシールからガスが抜け出すのを防止する。

## 【0053】

2つのガス導出口を使用する本実施例の他の利点は、この設計がリソグラフィ装置において以前に用いられていたエアベアリングの設計と非常に類似することである。従って、そうしたエアベアリングから得られた経験を本実施例のガスシールに直接適用することが可能である。第2実施例のガスシールはシール手段としてだけでなくガスベアリングとしての使用に特に適することから、シール部材12の重量の支持にこれを使用することが出来る。

## 【0054】

シール部材12の底面と基板W間の距離を測定するため、あるいは、基板Wの上面のトポロジーを計測するため、有効にセンサーが設けられる。ガス導入口および導出口の14、15、216に印加される圧力を変えるために調整手段を用いることが可能であり、リザーバに液体11を閉じ込める圧力P2と、シール部材12を支持する圧力P1およびP3を変える。よって、シール部材12と基板W間の距離Dが変えられるか、もしくは一定の距離に維持される。同一調整手段がシール部材12の面を維持するのに使用され得る。同一の調整手段はフィードフォワード調整ループあるいはフィードバック調整ループのいずれかにより調整され得る。

## 【0055】

図5は、リザーバに液体を保持する圧力P2と、シール部材12を支持する圧力P3を別々に調整するためにガスシールがいかに調整されうるかを詳細に示したものである。この特別な調整は、稼動中の液体損失を最小限におさえる方法を提供するため、有益である。第2実施例では、圧力P2およびP3を別々に調節可能にして、露光中のコンディションを変えるものである。コンディションが変わることは、異なる走査速度により、あるいは、おそらく基板Wのエッジがシール部材12によってオーバーラップしていることにより、単位時間ごとの液体損失が異なるレベルとなる。これは、基板Wに面したシール部材

12の面における個々の部分の基板Wに対する距離を変える手段を提供することにより達成される。こうした部分には、第一ガス導出口14と、光軸に最も近いシール部材12のエッジ間の部分220、ガス導入口15と第一ガス導出口14間の部分230、そして、第二ガス導出口216とガス導入口15間の部分240を含む。これらの部分は、例えば圧電アクチュエータを使用して、基板W方向、かつ基板Wから離れる方向に動作される。つまり、シール部材12の底面は圧電アクチュエータ（望ましくはスタック）から成る。該圧電アクチュエータは、これらを横切る電位差を与えることで拡張／収縮することが可能である。また他の機械的手段を用いることも可能である。

#### 【0056】

ガス導入口15の下で作り出される圧力P3は、ガス導入口15に印加されるガスの圧力P5、第一ガス導出口14および第二ガス導出口216それぞれに印加されるガスの圧力P6およびP4、そして、基板Wと基板Wに面したシール部材12の底面間の距離Dとにより決定される。また、ガス導入口とガス導出口間の水平距離も影響を与える。

#### 【0057】

シール部材12の重さは圧力P3によって補正され、それによりシール部材12はウェハWからの距離Dを確定する。Dの減少はP3の増加となり、Dの増加はP3の減少となる。ゆえにこれは自己調整システムといえる。

#### 【0058】

圧力P3による一定の押し出し力にて、距離Dは、圧力P4、P5、およびP6によって調整のみ可能とされる。しかし、P5、P6、およびDの組み合わせは、リザーバに液体11を保持する圧力である圧力P2を作り出す。所定の圧力レベルで液体の容器から抜け出す液体の量は計算可能であり、液体 $P_{L1Q}$ における圧力も重要である。 $P_{L1Q}$ がP2よりも大きい場合、液体はリザーバから抜け出る。また、 $P_{L1Q}$ がP2よりも小さい場合には好ましくは気泡が液体に発生する。液体に気泡が確実に出来ないよう、かつ、この液体の交換が必要である際にそれほど多くの液体が抜け出ることがないよう、P2を $P_{L1Q}$ よりもわずかに小さい値に維持していくようにすることが望ましい。好ましくは、これは全て定数Dによりなされる。部分220とウェハW間の距離D1を変えると、抜け出る液体の量が距離D1の2乗で変化するので、リザーバから抜け出す液体の量をかなり変えることが出来る。必要とされる距離の変動はわずか1mm程度のものであり、望ましくは $10\mu m$ である。これは、100V以上のオーダの稼動電圧を有する圧電スタックにより容易に可能とされる。

#### 【0059】

あるいは、部分230の底部に圧電素子を配置することにより、抜け出すことの出来る液体量を調整することが可能である。距離D2を変えることは圧力P2を変えるのに有効である。しかし、この解決法は、定数Dを維持するために、ガス導入口15における圧力P5の調整を必要とするであろう。

#### 【0060】

当然、部分240の低位部分と基板W間の距離D3を同様の方法で変えることも可能であり、P2およびP3の個々の調整に使用することも可能である。P2およびP3を所望の値に変えるべく、圧力P4、P5、およびP6と、距離D1、D2、およびD3を全て別個に、あるいは組み合わせて調整することが可能であることが理解されよう。

#### 【0061】

実際に、第2実施例は、リザーバ10の液体量のアクティブ管理における使用に特に有効である。基板Wの結像が行われていない投影装置のスタンバイ状態とは、リザーバ10の液体は空であるがそれによりシール部材12を支持するためにガスシールはアクティブであるという状態であろう。基板Wが配置された後、液体がリザーバ10内に導入される。次に基板Wが結像される。基板Wを取り除く前に、リザーバからの液体を取り除くことが出来る。最終基板の露光後にリザーバ10内の液体が取り除かれる。液体を取り除くたびに、前に液体が満たされていた領域を乾かすようにガスパージが適用されなくてはならない。上述したように定数P3を維持しながら、液体は、P2を変えることによって第2

10

20

30

40

50



実施例に従って装置において容易に完全に取り除かれることが出来る。他の実施例において、P 5 および P 6（かつ必要な場合、あるいは適切である場合、P 4 も）を変えることにより、同様の効果を達成することが出来る。

【実施例 3】

【0062】

図 6 に示すように、第 2 実施例の代替案、あるいはさらなる展開として、第一ガス導出口 1 4 の内側（投影システムの光軸にさらに近い）に、基板 W に面したシール部材 1 2 の面にチャンネル 3 2 0 が設けられる。チャンネル 3 2 0 はガス導入口および導出口の 1 4、1 5、2 1 6 と同様の構成を有する。

【0063】

チャンネル 3 2 0 を用いることで、圧力 P 3 とは別々に圧力 P 2 を変えることが可能である。もしくは、リザーバ 1 0 の液面より上方の周囲圧へチャンネルを開口することにより、稼動中のリザーバからの液体消費がかなり減じられる。チャンネル 3 2 0 は他のどのような実施例とも組み合わせることが可能であり、特に第 1 実施例と組み合わせて使用され得るが、本実施例を第 2 実施例との組み合わせにおいて説明した。さらなる長所は、ガス導入口 1 5 および第一ガス導出口 1 4（またある特定の実施例においては第二ガス導出口 2 1 6 も）が乱されないことである。

【0064】

さらに、ここでは 3 個のみの素子を示しているが、基板 W に面したシール部材 1 2 の面に何個のチャンネルでも取り入れることが可能である。各チャンネルは、液体供給システムの剛性、液体消費、安定性、あるいは他の特性を改善するために圧力を与えられている。

【実施例 4】

【0065】

図 7 および図 8 に示した第 4 実施例は、以下に記載の内容を除いては第 1 実施例と同様である。しかし、第 4 実施例はここに記載のいずれか他の実施例とともに有効に使用することも可能である。

【0066】

第 4 実施例において、好ましくはポーラス・カーボンや多孔質セラミック部材といった多孔質部材 4 1 0 が、ガス導入口 1 5 に取り付けられる。ここでは、ガスはシール部材の底面から抜け出る。好ましくは、多孔質部材の底面はシール部材の底面と同一平面上にある。このポーラス・カーボン部材 4 1 0 は、（この場合基板 W における）完全に平らではない面に無関係であり、導入口 1 4 を抜け出るガスは導入口の出口全体によく分配される。シール部材 1 2 が基板 W のエッジ上に部分的に配置されるとき、このポイントにおいてガスシールが接触する面が平らでないとき、多孔質部材 4 1 0 を使用することによって得られる長所もまた明らかである。

【0067】

第 4 実施例の別形態において、多孔質部材 4 1 0 を真空チャンネル 1 4 に配置することが可能である。望ましからざる圧力損失を回避しながら、多孔質部材 4 1 0 は、加圧状態を維持するように選択された孔を有するべきである。これは、基板 W のエッジを結像するときにより有利であり、ガスペアリングは基板 W のエッジ上を動作する。なぜならば、たとえエッジ位置における予圧が損失するとしても、予圧の変動をかなり減じて、そして、ステージ上の浮上高と力の連続的な変化において、真空チャンネルは多量かつ多種のガスにより汚染されないからである。

【実施例 5】

【0068】

上記の実施例全てにおいて一般的に、自由表面を有する、空気といったガスに露出されるリザーバ 1 0 内に液体を有する。これは、投影システム P L の最終素子が、投影システムに静水力が増すことによるクラッシュの場合に破壊するのを防ぐためである。クラッシュの間、投影システム P L がそれに対して作用するとき、リザーバ 1 0 内の液体は抑制させず、液体が容易に上方にあがることを余儀なくされる。この解決法の欠点は、稼動中に自

10

20

30

40

50

由表面で表面波が生じ、それにより基板Wから投影システムPLに好ましくからざる外乱を伝えることである。

#### 【0069】

この問題を解決する一つの方法は、リザーバ10が、特にその上面が、シール部材内に完全に含まれるようにすることである。液体は第二リザーバからダクトを通してリザーバ10に供給される。この第二リザーバは抑制されない最上面を有することができ、クラッシュの間、液体はダクトを通して第二リザーバ内に向かうことを余儀なくされることから、投影システムにおいて第一リザーバ10に大きな静水力が生じるのを回避する。

#### 【0070】

こうしたクローズドシステムにおいて、投影システムにおける液体の圧力の局所的増加は、リザーバに連結するダクトが、次の等式に従う半径を有するダクトに等しい断面領域を確実に有することにより回避される。

#### 【数3】

$$R = \left( \frac{8\Delta V \eta L}{\pi \Delta P t} \right)^{1/4}$$

ここで、Rはダクト半径であり、 $\Delta V$ は時間t内にリザーバ10から取り除かれなくてはならない液体の量であり、Lはダクトの長さであり、 $\eta$ は液体の粘度であり、そして $\Delta P$ は第二リザーバと第一リザーバ10間の圧力差である。基板テーブルが0.2m/秒（実験により計測）の速度でクラッシュする可能性があり、かつ、 $\Delta P_{max}$ は $10^4$ Paである（最大圧力において投影システムの最終素子はダメージが生じる前は持ちこたえることが出来る）という仮定がたてられる場合、必要パイプ半径は0.2mのダクト長に対して約2.5ミリメートルである。望ましくは、ダクトの有効半径は式から得られる最小値の少なくとも2倍である。

#### 【0071】

投影システムPLがクラッシュ時になおかつ保護されるようにしながら、リザーバ10の液体において波の形成を回避するまた別の方法は、リザーバ10の液体の最上面における抑制膜510を液体の自由表面に提供することである。この解決法は、クラッシュの場合、高すぎる圧力にせず液体を排出させるために、安全手段515を必要とする。その一解決法を図9において示している。抑制膜は可とう性材料から成り、これは、液体の圧力が所定の許容最大値に達する前に液体が可とう性のある抑制膜510を変形させることにより、液体が、投影システムPLと抑制膜510間、もしくは抑制膜とシール部材間をそれぞれ抜け出すといった方法で、シール部材12の壁部あるいは投影システムに取り付けられる。このように、クラッシュの場合に投影システムPLに損傷を与えることなく、液体が安全膜を抜け出すことが可能である。この実施例に関して、リザーバ10の少なくとも体積の抑制膜上にスペースを有することが明らかに望ましい。よって、可とう性のある膜は、リザーバ10における液体の最上面において波の形成を回避し得るほど十分に堅いが、一旦液体が所定の静水圧に達すると、液体が抜け出るのを防止するほどには堅くない。より堅い抑制膜との組み合わせにおいて、所定圧力以上で液体の自由な流れを可能にする圧力弁515を使用することで同様の効果が達せられる。

#### 【0072】

抑制手段のまた別の形態では、リザーバ10の液体の最上部の自由表面に粘度の高い液体を配置する。これは、クラッシュの場合に、投影システムPLを妨害せず液体を抜け出させながら表面波の形成を抑制する。当然、高粘度の液体はスペース10において使用される液体と非混和性でなくてはならない。

#### 【0073】

それに関する液体抑制手段510のさらなる代替案はメッシュで構成することである。この方法において液体の最上面は各々が小さい面積の複数部分に分割される。この複数部分の表面面積はメッシュの開口に等しく、それにより大きな表面波の生成が効果的に抑え

10

20

30

40

50

られるため、このようにして、共振により作り出され、かつ投影システムを阻害する大きな表面波の発生を回避する。また、メッシュによって、その開口を通る液体の流れを可能にすることで、クラッシュの際に投影システム保護する効果的な圧力解除メカニズムがもたらされる。

#### 【実施例 6】

##### 【0074】

図 10 および図 11 に示した第 6 実施例は、以下に記載の内容を除いて第 1 実施例と同様である。第 6 実施例は上述の実施例における提案のいくつかを使用する。

##### 【0075】

別の実施例において、投影システムの最終素子の下でこれを囲んで配置されたシール部材 12 により、投影システムの下領域に浸液 11 が閉じ込められている。

##### 【0076】

シール部材 12 と基板 W 間のガスシールは、3 つのタイプの導入口および導出口から形成されている。シール部材は一般的に導出口 614、導入口 615、そして、さらにもう 1 つの導入口 617 を備えている。これらは、投影システム PL の最も近くに導出口 614 が、導出口 614 のすぐ外側にさらにもう 1 つの導入口 617 が、そして投影システム PL から最も遠くに導入口 615 が配置されている。導入口 615 は、環状のチャンバ 622 を介して、基板 W に面したシール部材 12 の表面にある複数の導出ホール 620 にガス供給がなされるエアベアリングから成る。導出口 620 を抜け出す空気の力は、シール部材 12 の重量の少なくとも部分を支持することと、投影システム PL の下の局所的な領域に閉じ込められる浸液をシールするのを助ける導出口 614 方向への空気の流れを可能にすることの両方の役割をなす。チャンバ 622 の目的は、別個のガス供給オリフィス 625 が導出ホール 620 で均一な圧力にてガスを供給するようにすることである。導出ホール 620 は直径が約 0.25 mm であり、約 54 個の導出ホール 620 がある。導出ホール 620 とチャンバ 622 間における流量制限にあるオーダの大きさの差があり、これは、少ない数、すなわち 1 つだけのメイン供給オリフィス 625 であっても、導出ホール 620 全てからの均一な流出を可能にする。

##### 【0077】

導出ホール 620 を抜け出るガスは放射状に内側と外側の両方に流れる。導出口 614 から放射状に内側に流れる空気は、シール部材と基板 W 間のシールを形成するのに有効である。しかし、さらなる導入口 617 によりさらに空気の流れがもたらされる場合、シールを改善することが分かった。通路 630 はガスソース、例えば外気に連結している。導入口 615 からの空気の放射状の内側への流れは、さらなる導入口 617 から導出口 614 に向かってさらにガスを引き込むのに有効である。

##### 【0078】

通路 630 の端部（連続する別々の導入口ではなく）に設けられた環状の溝 633 は、溝 633 の最も内側のエッジと導出口 614 間におけるガスのシーリングフローが外周全体において確実に均一であるようにする。溝は一般に幅が 2.5 mm であり、同様の高さを有するものである。

##### 【0079】

溝 633 の最も内側のエッジ 635 は図示するような半径がもたらされ、通路 630 を通って導出口 614 に向かうガスのスムーズな流れを可能にする。

##### 【0080】

導出口 614 はまた、高さがわずかに約 0.7 mm であるが、幅が 6 から 7 mm の連続した溝 640 を有する。溝 640 の最も外側のエッジ 642 は、ほぼ 90° の鋭いエッジがもたらされ、それによってガスの流れ、特に、さらなる導入口 630 からのガスの流れはガスシールの効果を高めるように加速される。溝 640 は、環状のチャンバ 647 につながる、よって別個の導出通路 649 につながる複数の導出ホール 645 を有する。複数の導出ホール 645 は直径が約 1 mm であり、それにより、導出ホール 645 を通過する水滴はより小さな水滴に細分される。

10

20

30

40

50

## 【0081】

シール部材12の液体除去効果を、さらなる導入口617に連結した調整弁638によって調整することが可能である。弁638はさらなる導入口617を通る流量の調整に有効であり、それにより、導出口614を通るガスシールの液体除去効果を変える。

## 【0082】

シール部材の全径は100mm程度のものである。

## 【0083】

図11は、図10のシール部材の下側の平面図である。図から分かるように、導入口615は複数の別個の導入ホール620として提供されている。エアベアリングとしての溝が、このようなシステムにおいて変動が設定されるような能力（ガスの圧縮可能特性による）を有することから、これはメインの導入口615に溝を使用することに対して長所がある。小さい直径の導入ホール620はその中のガスは低量であるから、その能力によって生じる問題にあまり悩まされない。

## 【0084】

溝633の形状のさらなる導入口617は、別個の導入ホール620のみを使用するときには必ずしも可能でなかった、シール部材12の全円周において連続するガスの流れを可能にするために使用され得る。チャンバ647、622といったような有効な溝640を供給することにより別個の構成要素として導出口645を供給することは、流れを安定させるのに問題とはならない。

## 【0085】

液体の導入口は図10および図11のシール部材12において示されておらない。液体は、前述の実施例にて示された方法と同様の方法にて供給されるか、あるいは、いくつかの液体は、欧州特許申請番号03256820、6号および同第03256809、9号において記載されているように導出入される。

## 【実施例7】

## 【0086】

第7実施例は以下に記載の内容を除いて第6実施例に類似する。図12は、図11と類似するシール部材12下側の平面図である。図12において、シール部材12には第6実施例に示したようなさらなる導入口は設けられないが、任意に追加することも可能である。

## 【0087】

第7実施例のシール部材12は、導入ホール720により形成され、かつ、第6実施例の全体設計と同様のガスベアリング715から成る。導入口714は、それぞれガスソースと真空ソースに導く2つのみの通路745と747を有する環状の溝740から成る。この方法により通路745に連結したガスソースから、通路747に連結した真空ソースへの高速のガスの流れがもたらされる。この高速のガスの流れにより浸液をより効果的に排水することが可能となる。さらに、真空チャンバにおいてより大きく制限された真空の流れを作り出すことで、基板W上のシール部材12の高さの変動による流れのばらつき、あるいは表面における他の漏れのもと、ガスベアリングに対して予圧を与える真空チャンバの圧力に影響を与えない。

## 【実施例8】

## 【0088】

第8実施例は図14との関連において説明を行うものであり、以下に記載の内容を除いて第一実施例と同様である。

## 【0089】

図14において分かるように、第8実施例は、第一実施例と同様導入口815と導出口814を備えたシール部材12を有する。しかし、導出口14の下に、あるいはこれのわずかに放射状の外側に、基板Wの面上のガスの速度を増すガスジェットが作り出されるように配列されたさらにもう1つの導入口817が設けられており、それによって浸液はより効果的に基板Wの表面から取り除かれる。さらなる導入口817は、投影システムPL

10

20

30

40

50

に放射状の内側に向かう角度で基板Wに向かって導かれるノズルによってもたらされる出口を有する。従い、最後の数マイクロメートルの液体フィルムを水から取り除くことの出来ない、基板表面上のゼロ速度で単純な放射線状の速度分布を有する、導入口815と導出口814間の層流（レイノルズ数が約300）が改善される。なぜならば、さらなる導入口817により、より高速の空気速度を有するガスが基板表面と接触するのを可能にするからである。

【0090】

図14から、さらなる導入口817のノズル出口が、導出口814の放射状の外側に、しかし、導入口815よりも導出口814の近くに設けられていることが分かる。

【実施例9】

【0091】

第9実施例を図15および図16に示しており、これは以下に記載の内容を除いて第1実施例と同様である。

【0092】

第9実施例において、基板Wに面するシール部材の底面における導出口914の口が、導出口914内への空気の速度を増すように修正されている。これは、導出口914の通路を同じサイズに保ちながら、導入口914の口のサイズを減じることで達せられる。これは、シール部材12の材料を通路の中央に向かって伸長して、外側への追加部材940と内側への追加部材950を形成することにより、より小さい口を設けることで達成される。外側への追加部材940は内側への追加部材950よりも小さく、これら2つの部材940、950間のギャップは、導出口914の残り部分よりも約20倍小さい。口の幅は約100から300  $\mu\text{m}$ である。

【0093】

図16において、第9実施例のさらなる別の形態を示しており、ここでは、第8実施例における導入口817に類似するさらなる導入口917が設けられている。しかし、この場合、さらなる導入口917は基板Wの面にほぼ平行な噴流をもたらし、それにより導出口914の口に入るガスが加速される。

【実施例10】

【0094】

第10実施例を図17に示しており、本実施例は以下に記載の内容を除いて第1実施例と同様である。

【0095】

第10実施例において、第8実施例と同様の原理に従って基板Wの表面上のガス速度を増すことによって液体除去効率が改善される。導入口1015から出て、導出口1014に向かって放射状の内側に動くガスは、環状の溝1018の下を通過する。図示するように、溝の効果は、ガスがその放射状の最も外側にある溝に入り、放射状の内側面において基板Wの方向に角度を持って出ることである。従い、導出口1014への入り口で基板Wの表面上のガスの速度は増し、液体除去効率が改善される。

【0096】

どの実施例のフューチャであっても、他の実施例のいくつかの、あるいは全部のフューチャとともに使用可能であることは明らかである。

【0097】

以上、本発明の実施形態を詳細に説明したが、本発明の範囲を逸脱することなく他の方法でも具体化できることは当業者にとって明らかである。本詳細説明は本発明を制限する意図ではない。

【図面の簡単な説明】

【0098】

【図1】 本発明の実施例におけるリソグラフィ投影装置を示したものである。

【図2】 本発明の第1実施例の液体リザーバを示したものである。

【図3】 本発明の第1実施例の液体リザーバの部分の拡大図である。

10

20

30

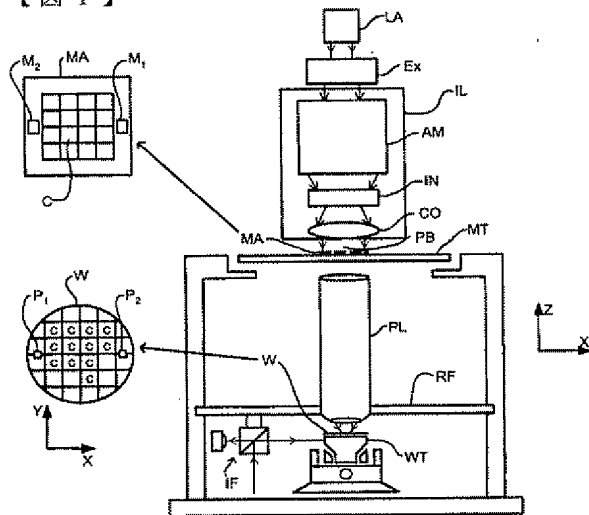
40

50

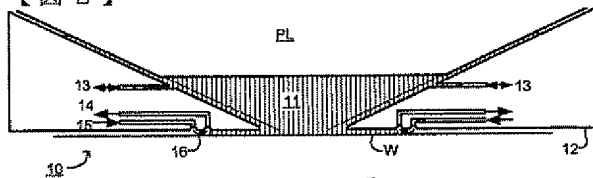
- 【図 4】 本発明の第 2 実施例の液体リザーバを示したものである。  
 【図 5】 本発明の第 2 実施例の液体リザーバの部分の拡大図である。  
 【図 6】 本発明の第 3 実施例の液体リザーバの拡大図である。  
 【図 7】 本発明の第 4 実施例の液体リザーバを示したものである。  
 【図 8】 本発明の第 4 実施例の液体リザーバの部分の拡大図である。  
 【図 9】 本発明の第 5 実施例の液体リザーバを示したものである。  
 【図 10】 本発明の第 6 実施例の液体リザーバを示したものである。  
 【図 11】 第 6 実施例のシール部材の下側の平面図である。  
 【図 12】 第 7 実施例のシール部材の下側の平面図である。  
 【図 13】 第 7 実施例の液体リザーバの断面図である。  
 【図 14】 第 8 実施例の液体リザーバの断面図である。  
 【図 15】 第 9 実施例の液体リザーバの断面図である。  
 【図 16】 また別の第 9 実施例の変形態様の液体リザーバの断面図である。  
 【図 17】 第 10 実施例の液体リザーバの断面図である。

10

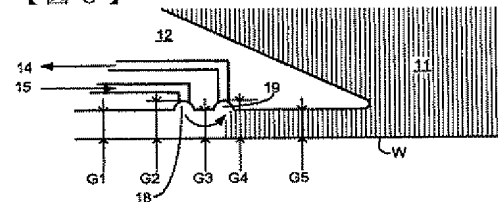
【図 1】



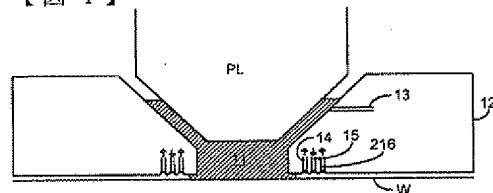
【図 2】



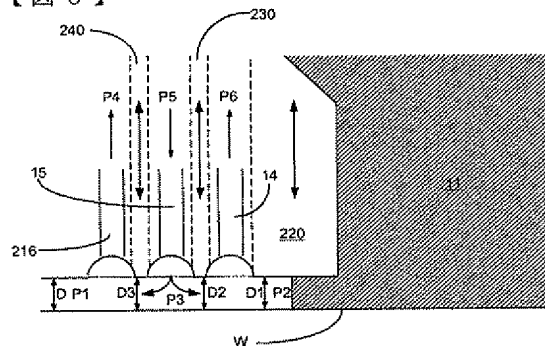
【図 3】



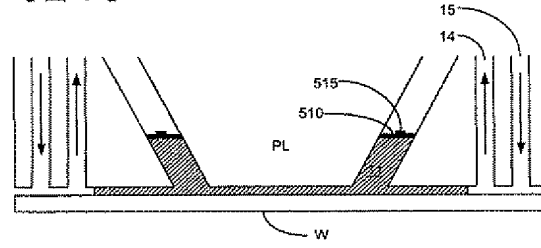
【図 4】



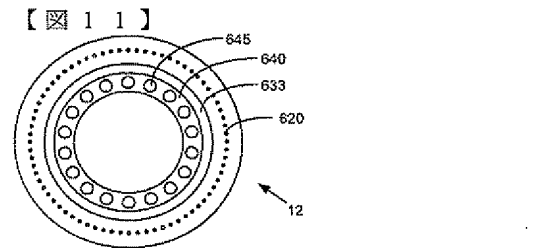
【図 5】



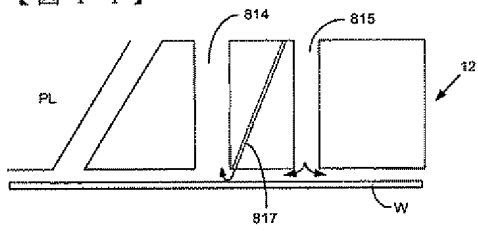
【图 9】



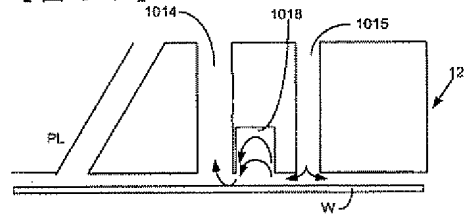
【 1 1 】



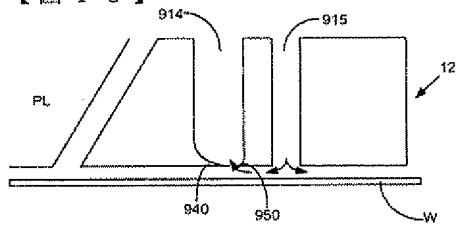
【図 14】



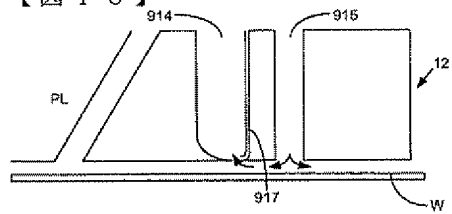
【図 17】



【図 15】



【図 16】





## フロントページの続き

- (72)発明者 ヨエリ ロフ  
オランダ国 エイントホーフェン、グラーフ アドルフストラート 6
- (72)発明者 アントニウス テオドルス アンナ マリア デルクセン  
オランダ国 エイントホーフェン、ピサノストラート 5 1
- (72)発明者 クリスティアーン アレクサンデル ホーゲンダム  
オランダ国 フェルトホーフェン、ルネット 4 3
- (72)発明者 アレクセイ コレスニチェンコ  
オランダ国 ニュメゲン、ムゼンブラーツ 1 1 0
- (72)発明者 エリク ローロフ ローブストラ  
オランダ国 ヘーゼ、ホディバルデュスラーン 1 5
- (72)発明者 テオドルス マリヌス モッデルマン  
オランダ国 ヌーネン、オウデ ケルクディユク 5 8
- (72)発明者 ヨハannes カタリヌス フベルトウス ムルケンス  
オランダ国 マーストリヒト、トンゲルセストラート 6 8
- (72)発明者 ローロフ アエイコ シーブランド リトセマ  
オランダ国 エイントホーフェン、クリスティナストラート 1 1 6
- (72)発明者 クラウス シモン  
オランダ国 エイントホーフェン、オルデンガールデ 1 1
- (72)発明者 ヨハannes テオドール デ スミット  
オランダ国 エイントホーフェン、トンゲルレセストラート 3 1 7 エイ
- (72)発明者 アレクサンデル ストラーイユエール  
オランダ国 エイントホーフェン、シクラメンストラート 2
- (72)発明者 ボブ ストレーフケルク  
オランダ国 ティルブルグ、エスドールンストラート 3 1
- (72)発明者 ヘルマール ファン サンテン  
オランダ国 アムステルダム、ラーグデ カディユク 1 7 イー
- F ターム(参考) 5F046 BA03 CB24 DA27 DC10

## 【外国語明細書】

**Lithographic Apparatus and Device Manufacturing Method**

The present invention relates to a lithographic projection apparatus comprising:

- a radiation system for supplying a projection beam of radiation;
- a support structure for supporting patterning means, the patterning means serving to pattern the projection beam according to a desired pattern;
- 5 - a substrate table for holding a substrate;
- a projection system for projecting the patterned beam onto a target portion of the substrate; and
- a liquid supply system for at least partly filling a space between the final element of said projection system and said substrate with a liquid.

10

The term “patterning means” as here employed should be broadly interpreted as referring to means that can be used to endow an incoming radiation beam with a patterned cross-section, corresponding to a pattern that is to be created in a target portion of the substrate; the term “light valve” can also be used in this context. Generally, the said pattern will correspond to a particular functional layer in a device being created in the target portion, such as an integrated circuit or other device (see below). Examples of such patterning means include:

- 20 - A mask. The concept of a mask is well known in lithography, and it includes mask types such as binary, alternating phase-shift, and attenuated phase-shift, as well as various hybrid mask types. Placement of such a mask in the radiation beam causes selective transmission (in the case of a transmissive mask) or reflection (in the case of a reflective mask) of the radiation impinging on the mask, according to the pattern on the mask. In the case of a mask, the support structure will generally be a mask table, which ensures that the mask can be held at a desired position in the incoming radiation beam, and that it can be moved relative to the beam if so desired.
- 25 - A programmable mirror array. One example of such a device is a matrix-addressable surface having a viscoelastic control layer and a reflective surface. The basic principle behind such an apparatus is that (for example) addressed areas of the reflective surface reflect incident light as diffracted light, whereas unaddressed
- 30

-2-

areas reflect incident light as undiffracted light. Using an appropriate filter, the said undiffracted light can be filtered out of the reflected beam, leaving only the diffracted light behind; in this manner, the beam becomes patterned according to the addressing pattern of the matrix-addressable surface. An alternative

5 embodiment of a programmable mirror array employs a matrix arrangement of tiny mirrors, each of which can be individually tilted about an axis by applying a suitable localized electric field, or by employing piezoelectric actuation means. Once again, the mirrors are matrix-addressable, such that addressed mirrors will reflect an incoming radiation beam in a different direction to unaddressed mirrors; in this

10 manner, the reflected beam is patterned according to the addressing pattern of the matrix-addressable mirrors. The required matrix addressing can be performed using suitable electronic means. In both of the situations described hereabove, the patterning means can comprise one or more programmable mirror arrays. More information on mirror arrays as here referred to can be gleaned, for example, from

15 United States Patents US 5,296,891 and US 5,523,193, and PCT patent applications WO 98/38597 and WO 98/33096, which are incorporated herein by reference. In the case of a programmable mirror array, the said support structure may be embodied as a frame or table, for example, which may be fixed or movable as required.

20 A programmable LCD array. An example of such a construction is given in United States Patent US 5,229,872, which is incorporated herein by reference. As above, the support structure in this case may be embodied as a frame or table, for example, which may be fixed or movable as required.

For purposes of simplicity, the rest of this text may, at certain locations, specifically direct

25 itself to examples involving a mask and mask table; however, the general principles discussed in such instances should be seen in the broader context of the patterning means as hereabove set forth.

Lithographic projection apparatus can be used, for example, in the manufacture of integrated circuits (ICs). In such a case, the patterning means may generate a circuit pattern

30 corresponding to an individual layer of the IC, and this pattern can be imaged onto a target portion (e.g. comprising one or more dies) on a substrate (e.g. silicon wafer) that has been coated with a layer of radiation-sensitive material (resist). In general, a single wafer will contain a whole network of adjacent target portions that are successively irradiated via the

-3-

projection system, one at a time. In current apparatus, employing patterning by a mask on a mask table, a distinction can be made between two different types of machine. In one type of lithographic projection apparatus, each target portion is irradiated by exposing the entire mask pattern onto the target portion in one go; such an apparatus is commonly referred to as a wafer stepper. In an alternative apparatus — commonly referred to as a step-and-scan apparatus — each target portion is irradiated by progressively scanning the mask pattern under the projection beam in a given reference direction (the "scanning" direction) while synchronously scanning the substrate table parallel or antiparallel to this direction; since, in general, the projection system will have a magnification factor  $M$  (generally  $< 1$ ), the speed  $V$  at which the substrate table is scanned will be a factor  $M$  times that at which the mask table is scanned. More information with regard to lithographic devices as here described can be gleaned, for example, from US 6,046,792, incorporated herein by reference.

In a manufacturing process using a lithographic projection apparatus, a pattern (e.g. in a mask) is imaged onto a substrate that is at least partially covered by a layer of radiation-sensitive material (resist). Prior to this imaging step, the substrate may undergo various procedures, such as priming, resist coating and a soft bake. After exposure, the substrate may be subjected to other procedures, such as a post-exposure bake (PEB), development, a hard bake and measurement/inspection of the imaged features. This array of procedures is used as a basis to pattern an individual layer of a device, e.g. an IC. Such a patterned layer may then undergo various processes such as etching, ion-implantation (doping), metallization, oxidation, chemomechanical polishing, etc., all intended to finish off an individual layer. If several layers are required, then the whole procedure, or a variant thereof, will have to be repeated for each new layer. Eventually, an array of devices will be present on the substrate (wafer). These devices are then separated from one another by a technique such as dicing or sawing, whence the individual devices can be mounted on a carrier, connected to pins, etc. Further information regarding such processes can be obtained, for example, from the book "Microchip Fabrication: A Practical Guide to Semiconductor Processing", Third Edition, by Peter van Zant, McGraw Hill Publishing Co., 1997, ISBN 0-07-067250-4, incorporated herein by reference.

For the sake of simplicity, the projection system may hereinafter be referred to as the "lens"; however, this term should be broadly interpreted as encompassing various types of projection system, including refractive optics, reflective optics, and catadioptric systems, for example. The radiation system may also include components operating according to any

-4-

of these design types for directing, shaping or controlling the projection beam of radiation, and such components may also be referred to below, collectively or singularly, as "lens". Further, the lithographic apparatus may be of a type having two or more substrate tables (and/or two or more mask tables). In such "multiple stage" devices the additional tables  
5 may be used in parallel, or preparatory steps may be carried out on one or more tables while one or more other tables are being used for exposures. Dual stage lithographic apparatus are described, for example, in US 5,969,441 and WO 98/40791, incorporated herein by reference.

It has been proposed to immerse the substrate in a lithographic projection  
10 apparatus in a liquid having a relatively high refractive index, e.g. water, so as to fill a space between the final element of the projection system and the substrate. The point of this is to enable imaging of smaller features since the exposure radiation will have a shorter wavelength in the liquid. (The effect of the liquid may also be regarded as increasing the effective NA of the system.)

15 However, submersing the substrate table in liquid means that there is a large body of liquid that must be accelerated during a scanning exposure. This requires additional or more powerful motors and turbulence in the liquid may lead to undesirable and unpredictable effects.

There are several difficulties associated with having liquids in a lithographic  
20 projection apparatus. For example, escaping liquid can cause a problem by interfering with interferometers and, if the lithographic projection apparatus requires the beam to be held in a vacuum, by destroying the vacuum. Furthermore, the liquid can be used up at a high rate unless suitable precautions are taken.

Further problems associated with immersion lithography include the difficulty in  
25 keeping the depth of the liquid constant and transfer of substrates to and from the imaging position i.e. under the final projection system element. Also, contamination of the liquid (by chemicals dissolving in it) and increase in temperature of the liquid deleteriously affect the imaging quality achievable.

In the event of a computer failure or power failure or loss of control of the  
30 apparatus for any reason, steps need to be taken to protect, in particular, the optical elements of the projection system. It may be necessary to take steps to avoid spillage of the liquid over other components of the apparatus.

If a liquid supply system is used in which the liquid has a free surface, steps need to

-5-

be taken to avoid the development of waves in that free surface due to forces applied to the liquid supply system. Waves can transfer vibrations to the projection system from the moving substrate.

WO 99/49504 discloses a lithographic apparatus in which a liquid is supplied to the space between the projection lens and the wafer. As the wafer is scanned beneath the lens in a -X direction, liquid is supplied at the +X side of the lens and taken up at the -X side.

It is an object of the present invention to provide a lithographic projection apparatus in which a space between the substrate and projection system is filled with a liquid whilst minimizing the volume of liquid that must be accelerated during stage movements.

This and other objects are achieved according to the invention in a lithographic apparatus as specified in the opening paragraph, characterized in that said liquid supply system comprises:

- a seal member extending along at least a part of the boundary of said space between the final element of said projection system and said substrate table; and
- a gas seal means for forming a gas seal between said seal member and the surface of said substrate.

The gas seal means thus forms a non-contact seal between the seal member and the substrate so that the liquid is contained in the space between the final element of the projection system and the substrate, even as the substrate moves under the projection system, e.g. during a scanning exposure.

The seal member may be provided in the form of a closed loop, whether circular, rectangular, or other shape, around the space or may be incomplete, e.g. forming a U-shape or even just extending along one side of the space. If the seal member is incomplete, it should be positioned to confine the liquid as the substrate is scanned under the projection system.

Preferably, the gas seal means is a gas bearing for supporting said seal member. This has the advantage that the same part of the liquid supply system can be used both for bearing and for sealing the liquid in a space between the final element of the projection system and the substrate, thereby reducing the complexity and weight of the seal member. Also, previous experience gained in the use of gas bearings in vacuum environments can be

called on.

Preferably, the gas seal means comprises a gas inlet and a first gas outlet formed in a face of said seal member that opposes said substrate, means for supplying gas under pressure to said gas inlet and vacuum means for extracting gas from said first gas outlet.

5 More preferably, the gas inlet is located further outward from the optical axis of said projection system than said first gas outlet. In this way, the gas flow in the gas seal is inward and most efficiently contains the liquid. In this case, the gas seal means advantageously further comprises a second gas outlet formed in the face of the seal member which opposes the substrate, the first and second gas outlets being formed on opposite sides  
10 of the gas inlet. The second gas outlet ensures minimal escape of gas from the gas inlet into the environment surrounding the seal member. Thus, the risk of gas escaping and interfering with the interferometers or degrading a vacuum in the lithographic apparatus, is minimized.

The liquid supply system may also comprise sensors for measuring the distance  
15 between the face of the seal member and the substrate and/or the topography of the top surface of the substrate. In this way, control means can be used to vary the distance between the face of the seal member and the substrate by controlling, for example, the gas seal means either in a feed-forward or a feed-back manner.

The apparatus may further comprise means for varying the level of a portion of  
20 said face of said seal member between the first gas outlet and an edge of the face nearest the optical axis relative to the remainder of the face. This allows the pressure containing the liquid in the space, to be controlled independently of the pressure below the inlet so that the height of the seal member over the substrate can be adjusted without upsetting the balance of forces holding the liquid in the space. An alternative way of ensuring this is to use a  
25 means for varying the level of a portion of the face between the first or second gas outlets and the gas inlet relative to the remainder of the face. Those three systems may be used in any combination.

An alternative way of separating a sealing function and bearing function of the gas seal means is to provide a channel formed in the face of the seal member located nearer to  
30 the optical axis of the projection system than the first gas outlet. The pressure in that channel can be varied to contain the liquid in the space whereas the gas in and out-lets may be used to vary the height of the seal member above the substrate so that they only operate to support the seal member and have little, if any, sealing function.

-7-

A further advantageous feature is for a porous member to be disposed over the gas inlet for evenly distributing gas flow over the area of the gas inlet.

It is convenient to form the gas in and out-lets so that each comprises a groove in said face of said seal member opposing said substrate and a plurality of conduits leading into  
5 said groove at spaced locations.

It is also preferred that the gap between said seal member and the surface of said substrate inwardly of said gas seal means is small so that capillary action draws liquid into the gap and/or gas from the gas seal means is prevented from entering the space. The balance between the capillary forces drawing liquid under the seal member and the gas flow  
10 pushing it out forms a particularly stable seal.

It is a further object of the present invention to provide a lithographic projection apparatus in which a space between the substrate and the projection system is filled with a liquid whilst minimizing the transmission of disturbance forces between the substrate and  
15 projection system.

This and other objects are achieved according to the invention in a lithographic apparatus as specified in the opening paragraph, characterized in that said space is in liquid connection with a liquid reservoir through a duct and the minimum cross sectional area of  
20 said duct in a plane perpendicular to the direction of fluid flow is at least  $\pi \left( \frac{8\Delta V \eta L}{\pi \Delta P_{\max} t_{\min}} \right)^{1/2}$ ,

where  $\Delta V$  is the volume of liquid which has to be removed from said space within time  $t_{\min}$ ,  $L$  is the length of the duct,  $\eta$  is viscosity of liquid in said space and  $\Delta P_{\max}$  is the maximum allowable pressure on said final element.

This apparatus has the advantage that the liquid can be completely constrained  
25 such that it does not have a large free surface for the development of waves i.e. the space or reservoir is enclosed at the top and the reservoir is full of liquid. This is because the amount of fluid which can flow through the duct in a given time (time of crash measured experimentally) is large enough to avoid damage to the final element of the projection system when the apparatus crashes because the liquid can escape through the duct before  
30 pressure in the space build up to levels at which damage can occur. The liquid must escape when the seal member moves relative to the final element otherwise the hydrostatic pressure applied to the final element during relative movement of the final element to the seal



-8-

member can damage the final element.

In another aspect of the invention, there is provided a lithographic apparatus as specified in the opening paragraph, characterized in that the liquid supply system further comprises, on a top surface of liquid in said liquid supply system, a suppression means for  
5 suppressing development of waves and including pressure release means.

In this way, the development of waves can be suppressed by contact of the suppression means with a top surface of the liquid. However the liquid still can escape from the space in the event of a crash to avoid damaging the final element.

One way of providing the suppression means is through a flexible membrane or  
10 alternatively placing a high viscosity liquid which is immiscible with the liquid in the space on the top surface of the liquid in the space. In each of these cases the pressure release functionality is provided by the flexibility of the suppression means.

Another aspect of the invention provides a device manufacturing method comprising the steps of:

- 15 - providing a substrate that is at least partially covered by a layer of radiation sensitive material;
- providing a projection beam of radiation using a radiation system;
- using patterning means to endow the projection beam with a pattern in its cross-section;
- 20 - projecting the patterned beam of radiation onto a target portion of the layer of radiation-sensitive material; and
- providing a liquid to fill a space between the substrate and a final element of a projection system used in said step of projecting;

either characterized by:

- 25 - forming a gas seal between a seal member extending along at least a part of the boundary of said space and the surface of said substrate;
- or
- providing a liquid reservoir in liquid connection with said space through a duct and
- 30 - ensuring that said duct has a minimum cross-sectional area in a plane perpendicular

to the direction of flow of liquid of  $\pi \left( \frac{8\Delta V \eta L}{\pi \Delta P_{\max} t_{\min}} \right)^{1/2}$ , where

-9-

$\Delta V$  is the volume of liquid which has to be removed from said space within time  $\sigma_{min}$ ,  $L$  is the length of the duct,  $\eta$  is viscosity of liquid in said space and  $\Delta P_{max}$  is the maximum allowable pressure on said final element;  
or characterized by:

- 5        -        suppressing development of waves on said liquid with a suppression means and allowing for release of pressure of said liquid.

Although specific reference may be made in this text to the use of the apparatus according to the invention in the manufacture of ICs, it should be explicitly understood that such an apparatus has many other possible applications. For example, it may be employed  
10        in the manufacture of integrated optical systems, guidance and detection patterns for magnetic domain memories, liquidcrystal display panels, thin-film magnetic heads, etc The skilled artisan will appreciate that, in the context of such alternative applications, any use of the terms "reticle", "wafer" or "die" in this text should be considered as being replaced by the more general terms "mask", "substrate" and "target portion", respectively.

15        In the present document, the terms "radiation" and "beam" are used to encompass all types of electromagnetic radiation, including ultraviolet radiation (e.g. with a wavelength of 365, 248, 193, 157 or 126 nm).

Embodiments of the invention will now be described, by way of example only, with reference to the accompanying schematic drawings, in which:

20        Figure 1 depicts a lithographic projection apparatus according to an embodiment of the invention;

Figure 2 depicts the liquid reservoir of the first embodiment of the invention;

Figure 3 is an enlarged view of part of the liquid reservoir of the first embodiment of the invention;

25        Figure 4 depicts the liquid reservoir of the second embodiment of the invention

Figure 5 is an enlarged view of part of the liquid reservoir of the second embodiment of the invention;

Figure 6 is an enlarged view of the liquid reservoir of the third embodiment of the present invention;

30        Figure 7 depicts the liquid reservoir of the fourth embodiment of the present invention;

Figure 8 is an enlarged view of part of the reservoir of the fourth embodiment of the present invention;

-10-

Figure 9 depicts the liquid reservoir of a fifth embodiment of the present invention

Figure 10 depicts the liquid reservoir of a sixth embodiment of the present invention;

5 Figure 11 depicts, in plan, the underside of the seal member of the sixth embodiment;

Figure 12 depicts, in plan, the underside of the seal member of the seventh embodiment;

Figure 13 depicts, in cross section, the liquid reservoir of the seventh embodiment

Figure 14 depicts, in cross section, the liquid reservoir of an eighth embodiment;

10 Figure 15 depicts, in cross section, the liquid reservoir of a ninth embodiment

Figure 16 depicts, in cross section, the liquid reservoir of an alternative ninth embodiment; and

Figure 17 depicts, in cross section, the liquid reservoir of a tenth embodiment.

15 In the Figures, corresponding reference symbols indicate corresponding parts.

### Embodiment 1

20 Figure 1 schematically depicts a lithographic projection apparatus according to a particular embodiment of the invention. The apparatus comprises:

- a radiation system Ex, IL, for supplying a projection beam PB of radiation (e.g. DUV radiation), which in this particular case also comprises a radiation source LA;
- a first object table (mask table) MT provided with a mask holder for holding a mask MA (e.g. a reticle), and connected to first positioning means for accurately  
25 positioning the mask with respect to item PL;
- a second object table (substrate table) WT provided with a substrate holder for holding a substrate W (e.g. a resist-coated silicon wafer), and connected to second positioning means for accurately positioning the substrate with respect to item PL;
- a projection system ("lens") PL (e.g. a refractive lens system) for imaging an  
30 irradiated portion of the mask MA onto a target portion C (e.g. comprising one or more dies) of the substrate W.

As here depicted, the apparatus is of a transmissive type (e.g. has a transmissive mask).

-11-

However, in general, it may also be of a reflective type, for example (e.g. with a reflective mask). Alternatively, the apparatus may employ another kind of patterning means, such as a programmable mirror array of a type as referred to above.

The source LA (e.g. an excimer laser) produces a beam of radiation. This beam is fed into an illumination system (illuminator) IL, either directly or after having traversed conditioning means, such as a beam expander Ex, for example. The illuminator IL may comprise adjusting means AM for setting the outer and/or inner radial extent (commonly referred to as  $\sigma$ -outer and  $\sigma$ -inner, respectively) of the intensity distribution in the beam. In addition, it will generally comprise various other components, such as an integrator IN and a condenser CO. In this way, the beam PB impinging on the mask MA has a desired uniformity and intensity distribution in its crosssection.

It should be noted with regard to Figure 1 that the source LA may be within the housing of the lithographic projection apparatus (as is often the case when the source LA is a mercury lamp, for example), but that it may also be remote from the lithographic projection apparatus, the radiation beam which it produces being led into the apparatus (e.g. with the aid of suitable directing mirrors); this latter scenario is often the case when the source LA is an excimer laser. The current invention and Claims encompass both of these scenarios.

The beam PB subsequently intercepts the mask MA, which is held on a mask table MT. Having traversed the mask MA, the beam PB passes through the lens PL, which focuses the beam PB onto a target portion C of the substrate W. With the aid of the second positioning means (and interferometric measuring means IF), the substrate table WT can be moved accurately, e.g. so as to position different target portions C in the path of the beam PB. Similarly, the first positioning means can be used to accurately position the mask MA with respect to the path of the beam PB, e.g. after mechanical retrieval of the mask MA from a mask library, or during a scan. In general, movement of the object tables MT, WT will be realized with the aid of a long-stroke module (course positioning) and a short-stroke module (fine positioning), which are not explicitly depicted in Figure 1. However, in the case of a wafer stepper (as opposed to a step-and-scan apparatus) the mask table MT may just be connected to a short stroke actuator, or may be fixed.

The depicted apparatus can be used in two different modes:

- In step mode, the mask table MT is kept essentially stationary, and an entire mask image is projected in one go (i.e. a single "flash") onto a target portion C. The

-12-

substrate table WT is then shifted in the x and/or y directions so that a different target portion C can be irradiated by the beam PB;

- In scan mode, essentially the same scenario applies, except that a given target portion C is not exposed in a single "flash". Instead, the mask table MT is movable  
5 in a given direction (the so-called "scan direction", e.g. the y direction) with a speed  $v$ , so that the projection beam PB is caused to scan over a mask image; concurrently, the substrate table WT is simultaneously moved in the same or opposite direction at a speed  $V = Mv$ , in which  $M$  is the magnification of the lens PL (typically,  $M = 1/4$  or  $1/5$ ). In this manner, a relatively large target portion C  
10 can be exposed, without having to compromise on resolution.

Figure 2 shows the liquid reservoir 10 between the projection system and the substrate stage. The liquid reservoir 10 is filled with a liquid 11 having a relatively high refractive index, e.g. water, provided via inlet/outlet ducts 13. The liquid has the effect that the radiation of the projection beam has a shorter wavelength in the liquid than in air or a  
15 vacuum, allowing smaller features to be resolved. It is well known that the resolution limit of a projection system is determined, *inter alia*, by the wavelength of the projection beam and the numerical aperture of the system. The presence of the liquid may also be regarded as increasing the effective numerical aperture. Furthermore, at fixed numerical aperture, the liquid is effective to increase the depth of field.

20 The reservoir 10 forms a contactless seal to the substrate around the image field of the projection system so that liquid is confined to fill a space between the substrate surface and the final element of the projection system. The reservoir is formed by a seal member 12 positioned below and surrounding the final element of the projection system PL. Liquid is brought into the space below the projection system and within the seal member 12. The  
25 seal member 12 extends a little above the final element of the projection system and the liquid level rises above the final element so that a buffer of liquid is provided. The seal member 12 has an inner periphery that at the upper end preferably closely conforms to the step of the projection system or the final element thereof and may, e.g., be round. At the bottom, the inner periphery closely conforms to the shape of the image field, e.g.,  
30 rectangular though this need not be the case.

The liquid is confined in the reservoir by a gas seal 16 between the bottom of the seal member 12 and the surface of the substrate W. The gas seal is formed by gas, e.g. air or synthetic air but preferably  $N_2$  or another inert gas, provided under pressure via inlet 15

-13-

to the gap between seal member 12 and substrate and extracted via first outlet 14. The overpressure on the gas inlet 15, vacuum level on the first outlet 14 and geometry of the gap are arranged so that there is a high-velocity air flow inwards that confines the liquid. This is shown in more detail in Figure 3.

5       The gas seal is formed by two annular grooves 18, 19 which are connected to the first inlet 15 and first outlet 14 respectively by a series of small conducts spaced around the grooves. The in-and out-lets 14, 15 may either be a plurality of discrete orifices around the circumference of the seal member 24 or may be continuous grooves or slits. A large annular hollow in the seal member may be provided in each of the inlet and outlet to form a  
10 manifold. The gas seal may also be effective to support the seal member 12 by behaving as a gas bearing.

Gap G1, on the outer side of the gas inlet 15, is preferably small and long so as to provide resistance to air flow outwards but need not be. Gap G2, at the radius of the inlet 15, is a little larger to ensure a sufficient distribution of gas around the seal member, the  
15 inlet 15 being formed by a number of small holes around the seal member. Gap G3 is chosen to control the gas flow through the seal. Gap G4 is larger to provide a good distribution of vacuum, the outlet 14 being formed of a number of small holes in the same manner as the inlet 15. Gap G5 is small to prevent gas/oxygen diffusion into the liquid in the space, to prevent a large volume of liquid entering and disturbing the vacuum and to  
20 ensure that capillary action will always fill it with liquid.

The gas seal is thus a balance between the capillary forces pulling liquid into the gap and the airflow pushing liquid out. As the gap widens from G5 to G4, the capillary forces decrease and the airflow increases so that the liquid boundary will lie in this region and be stable even as the substrate moves under the projection system PL.

25       The pressure difference between the inlet, at G2 and the outlet at G4 as well as the size and geometry of gap G3, determine the gas flow through the seal 16 and will be determined according to the specific embodiment. However, a possible advantage is achieved if the length of gap G3 is short and absolute pressure at G2 is twice that at G4, in which case the gas velocity will be the speed of sound in the gas and cannot rise any higher.  
30 A stable gas flow will therefore be achieved.

The gas outlet system can also be used to completely remove the liquid from the system by reducing the gas inlet pressure and allowing the liquid to enter gap G4 and be sucked out by the vacuum system, which can easily be arranged to handle the liquid, as well

-14-

as the gas used to form the seal. Control of the pressure in the gas seal can also be used to ensure a flow of liquid through gap G5 so that liquid in this gap that is heated by friction as the substrate moves does not disturb the temperature of the liquid in the space below the projection system.

5           The shape of the seal member around the gas inlet and outlet should be chosen to provide laminar flow as far as possible so as to reduce turbulence and vibration. Also, the gas flow should be arranged so that the change in flow direction at the liquid interface is as large as possible to provide maximum force confining the liquid.

10           The liquid supply system circulates liquid in the reservoir 10 so that fresh liquid is provided to the reservoir 10.

          The gas seal 16 can produce a force large enough to support the seal member 12. Indeed, it may be necessary to bias the seal member 12 towards the substrate to make the effective weight supported by the seal member 12 higher. The seal member 12 will in any case be held in the XY plane (perpendicular to the optical axis) in a substantially stationary  
15           position relative to and under the projection system but decoupled from the projection system. The seal member 12 is free to move in the Z direction and Rx and Ry.

## 20    Embodiment 2

          The second embodiment is illustrated in Figures 4 and 5 and is the same as the first embodiment except as described below.

25           In this embodiment a second gas outlet 216 is provided on the opposite side of the gas inlet 15 to the first gas outlet 14. In this way any gas escaping from the gas inlet 15 outwards away from the optical axis of the apparatus is sucked up by second gas outlet 216 which is connected to a vacuum source. In this way gas is prevented from escaping from the gas seal so that it cannot interfere, for example, with interferometer readings or with a vacuum in which the projection system and/or substrate are housed.

30           Another advantage of using the two gas outlet embodiment is that the design is very similar to that of air bearings previously used in lithographic projection apparatus. Thus the experience gained with those air bearings can be applied directly to the gas seal of this embodiment. The gas seal of the second embodiment is particularly suitable for use as

-15-

gas bearing, as well as a seal means, such that it can be used to support the weight of the seal member 12.

Advantageously sensors may be provided to either measure the distance between the bottom face of the seal member 12 and the substrate W or the topography of the top surface of the substrate W. A control means may then be used to vary the pressures applied to the gas in- and out-lets 14, 15, 216 to vary the pressure P2 which constrains the liquid 11 in the reservoir and the pressures P1 and P3 which support the seal member 12. Thus the distance D between the seal member 12 and the substrate W may be varied or kept at a constant distance. The same control means may be used to keep the seal member 12 level. The control means may be controlled either by a feed forward or a feedback control loop.

Figure 5 shows in detail how the gas seal can be regulated to control independently the pressure P2 holding the liquid 11 in the reservoir and P3 which supports the seal member 12. This extra control is advantageous because it provides a way of minimizing liquid losses during operation. The second embodiment allows pressures P2 and P3 to be controlled independently to account for varying conditions during exposure. Varying conditions might be different levels of liquid loss per unit time because of different scanning speeds or perhaps because the edge of a substrate W is being overlapped by the seal member 12. This is achieved by providing means for varying the distance to the substrate W of discrete portions of the face of the seal member 12 facing the substrate W. These portions include the portion 220 between the first gas outlet 14 and the edge of the seal member 12 nearest the optical axis, the portion 230 between the gas inlet 15 and the first gas outlet 14 and the portion 240 between the second gas outlet 216 and the gas inlet 15. These portions may be moved towards and away from the substrate W by the use of piezoelectric actuators for example. That is the bottom face of the seal member 12 may comprise piezoelectric actuators (preferably stacks) which can be expanded/contracted by the application of a potential difference across them. Other mechanical means could also be used.

The pressure P3 which is created below the gas inlet 15 is determined by the pressure of gas P5 applied to the gas inlet 15, pressures of gas P6 and P4 applied to the first and second gas outlets 14 and 216 respectively and by the distance D between the substrate W and the bottom face of the seal member 12 facing the substrate W. Also the horizontal distance between the gas in and out-lets has an effect.

The weight of the seal member 12 is compensated for by the pressure of P3 so that



-16-

the seal member 12 settles a distance D from the wafer W. A decrease in D leads to an increase in P3 and an increase in D will lead to a decrease in P3. Therefore this is a self regulating system.

Distance D, at a constant pushing force due to pressure P3, can only be regulated  
5 by pressures P4, P5 and P6. However, the combination of P5, P6 and D creates pressure P2 which is the pressure keeping the liquid 11 in the reservoir. The amount of liquid escaping from a liquid container at given levels of pressure can be calculated and the pressure in the liquid  $P_{LQ}$  is also important. If  $P_{LQ}$  is larger than P2, the liquid escapes from the reservoir and if  $P_{LQ}$  is less than P2, air bubbles will occur in the liquid which is  
10 undesirable. It is desirable to try to maintain P2 at a value slightly less than  $P_{LQ}$  to ensure that no bubbles form in the liquid but also to ensure that not too much liquid escapes as this liquid needs to be replaced. Preferably this can all be done with a constant D. If the distance D1 between portion 220 and the wafer W is varied, the amount of liquid escaping from the reservoir can be varied considerably as the amount of liquid escaping varies as a  
15 square of distance D1. The variation in distance required is only of the order of 1mm, preferably 10  $\mu$ m and this can easily be provided by a piezoelectric stack with an operational voltage of the order of 100V or more.

Alternatively, the amount of liquid which can escape can be regulated by placing a piezoelectric element at the bottom of portion 230. Changing the distance D2 is effective to  
20 change pressure P2. However, this solution might require adjustment of pressure P5 in gas inlet 15 in order to keep D constant.

Of course the distance D3 between the lower part of portion 240 and substrate W can also be varied in a similar way and can be used to regulate independently P2 and P3. It will be appreciated that pressures P4, P5 and P6 and distances D1, D2 and D3 can all be  
25 regulated independently or in combination to achieve the desired variation of P2 and P3.

Indeed the second embodiment is particularly effective for use in active management of the quantity of liquid in the reservoir 10. The standby situation of the projection apparatus could be, where no substrate W is being imaged, that the reservoir 10 is empty of liquid but that the gas seal is active thereby to support the seal member 12.  
30 After the substrate W has been positioned, liquid is introduced into the reservoir 10. The substrate W is then imaged. Before the substrate W is removed the liquid from the reservoir can be removed. After exposure of the last substrate the liquid in the reservoir 10 will be removed. Whenever liquid is removed, a gas purge has to be applied to dry the area

-17-

previously occupied by liquid. The liquid can obviously be removed easily in the apparatus according to the second embodiment by variation of P2 whilst maintaining P3 constant as described above. In other embodiments a similar effect can be achieved by varying P5 and P6 (and P4 if necessary or applicable).

5

### Embodiment 3

10 As an alternative or a further development of the second embodiment as shown in Figure 6, a channel 320 may be provided in the face of the seal member 12 facing the substrate W inwardly (i.e. nearer to the optical axis of the projection system) of the first gas outlet 14. The channel 320 may have the same construction as the gas in- and out-lets 14, 15, 216.

15 Using the channel 320 pressure P2 may be varied independently of pressure P3. Alternatively, by opening this channel to environmental pressure above the liquid level in the reservoir 10, the consumption of liquid from the reservoir during operation is greatly reduced. This embodiment has been illustrated in combination with the second embodiment though the channel 320 may be used in combination with any of the other embodiments, in particular the first embodiment. A further advantage is that the gas inlet 15 and first gas  
20 outlet 14 (and for certain embodiments second gas outlet 216) are not disturbed.

Furthermore, although only three elements have been illustrated any number of channels may be incorporated into the face of the seal member 12 facing the substrate W, each channel being at a pressure to improve stiffness, liquid consumption, stability or other  
25 property of the liquid supply system.

### Embodiment 4

30

The fourth embodiment which is illustrated in Figures 7 and 8 is the same as the first embodiment except as described below. However, the fourth embodiment may also be advantageously used with any of the other embodiments described.

-18-

In the fourth embodiment a porous member 410, preferably porous carbon or a porous ceramic member, is attached to the gas inlet 15 where gas exits the bottom face of the seal member 12. Preferably the bottom of the porous member is co-planar with the bottom of the seal member. This porous carbon member 410 is insensitive to surfaces which are not completely flat (in this case substrate W) and the gas exiting the inlet 14 is well distributed over the entire exit of the inlet. The advantage gained by using the porous member 410 is also apparent when the seal member 12 is positioned partly over the edge of the substrate W as at this point the surface which the gas seal encounters is uneven.

In a variant of the fourth embodiment, the porous member 410 can be placed in the vacuum channel(s) 14. The porous member 410 should have a porosity chosen to maintain under pressure whilst preventing unacceptable pressure loss. This is advantageous when imaging the edge of the substrate W and the gas bearing moves over the edge of the substrate W because although the preload force at the position of the edge might be lost, the vacuum channel is not contaminated with a large and variable amount of gas, greatly reducing variations in the preload and as a consequence variation in flying height and forces on the stage.

## 20 Embodiment 5

All of the above described embodiments typically have liquid in the reservoir 10 exposed to a gas, such as air, with a free surface. This is to prevent the final element of the projection system PL from breaking in a case of a crash due to build up of hydrostatic forces on the projection system. During a crash the liquid in the reservoir 10 is unconstrained such that the liquid will easily give, i.e. be forced upwards, when the projection system PL moves against it. The disadvantage of this solution is that surface waves may occur on the free surface during operation thereby transmitting disturbance forces from the substrate W to the projection system PL, which is undesirable.

30 One way of solving this problem is to ensure that the reservoir 10 is completely contained within a seal member, particularly the upper surface. Liquid is then fed to the reservoir 10 through a duct from a secondary reservoir. That secondary reservoir can have an unconstrained top surface and during a crash liquid is forced through the duct into the

second reservoir such that the build up of large hydrostatic forces in the first reservoir 10 on the projection system can be avoided.

In such a closed system the local build up of pressure in the liquid on the projection system is avoided by ensuring that the duct connecting the reservoirs has a cross-sectional area equivalent to a duct with a radius according to the following equation

$$R = \left( \frac{8\Delta V \eta L}{\pi \Delta P t} \right)^{1/4}$$

where  $R$  is the duct radius,  $\Delta V$  is the volume of liquid which has to be removed from the reservoir 10 within time  $t$ ,  $L$  is the length of the duct,  $\eta$  is viscosity of the liquid and  $\Delta P$  is the pressure difference between the secondary reservoir and the primary reservoir 10. If an assumption is made that the substrate table can crash with a speed of 0.2 m/sec (measured by experiment) and  $\Delta P_{max}$  is  $10^4$  Pa (about the maximum pressure the final element of the project system can withstand before damage results), the required pipe radius is about 2.5 millimeters for a duct length of 0.2 m. Preferably the effective radius of the duct is at least twice the minimum given by the formula.

15 An alternative way to avoid the buildup of waves in the liquid in the reservoir whilst still ensuring that the projection system PL is protected in a crash, is to provide the free surface of the liquid with a suppression membrane 510 on the top surface of the liquid in the reservoir 10. This solution requires a safety means 515 to allow the liquid to escape in the case of a crash without the build-up of too high a pressure. One solution is illustrated in Figure 9. The suppression membrane may be made of a flexible material which is attached to the wall of the seal member 12 or the projection system in such a way that before the pressure in the liquid reaches a predetermined allowed maximum, liquid is allowed to deform the flexible suppression membrane 510 such that liquid can escape between the projection system PL and the suppression membrane 510 or between the suppression membrane and the seal member, respectively. Thus in a crash it is possible for liquid to escape above the safety membrane without damaging with projection system PL. For this embodiment it is obviously preferable to have a space above the suppression membrane of at least the volume of a reservoir 10. Thus the flexible membrane is stiff enough to prevent the formation of waves in the top surface of the liquid in the reservoir 10 but is not stiff enough to prevent liquid escaping once the liquid reaches a predetermined hydrostatic pressure. The same effect can be achieved by use of pressure valves 515 which allow the free-flow of liquid above a predetermined pressure in combination with a stiffer

-20-

suppression membrane.

An alternative form of suppression means is to place a high viscosity liquid on the top free surface of the liquid in the reservoir 10. This would suppress surface wave formation whilst allowing liquid to escape out of the way of the projection system PL in the case of a crash. Obviously the high viscosity liquid must be immiscible with the liquid used in the space 10.

A further alternative for the liquid suppression means 510 is for it to comprise a mesh. In this way the top surface of the liquid can be split into several parts each of smaller area. In this way, development of large surface waves which build up due to resonance and disturb the projection system is avoided because the surface area of the several parts is equal to the mesh opening so that the generation of large surface waves is effectively damped. Also, as the mesh allows flow of liquid through its openings, an effective pressure release mechanism is provided for the protection of the projection system in the case of a crash.

15

#### Embodiment 6

The sixth embodiment as illustrated in Figures 10 and 11 is the same as the first embodiment except as described below. The sixth embodiment uses several of the ideas in the foregoing embodiments.

As with the other embodiments, the immersion liquid 11 is confined to an area under the projection system PL by a seal member 12 positioned below and surrounding the final element of a projection system.

The gas seal between the seal member 12 and the substrate W is formed by three types of in-and-out-let. The seal member is generally made up of an outlet 614, an inlet 615 and a further inlet 617. These are positioned with the outlet 614 nearest the projection system PL, readily outwardly of the outlet 614 the further inlet 617 and furthest from the projection system PL the inlet 615. The inlet 615 comprises the air bearing in which gas is provided to a plurality of outlet holes 620 in the surface of the seal member 12 facing the substrate W via an annular chamber 622. The force of the air exiting the outlet 620 both supports at least part of the weight of the seal member 12 and well as providing a flow of

-21-

air towards the outlet 614 which helps seal the immersion liquid to be confined to a local area under the projection system PL. The purpose of the chamber 622 is so that the discrete gas supply orifice(s) 625 provide gas at a uniform pressure at the outlet holes 620. The outlet holes 620 are about 0.25 mm in diameter and there are approximately 54 outlet  
5 holes 620. There is an order of magnitude difference in flow restriction between the outlet holes 620 and the chamber 622 which ensures an even flow out of all of the outlet holes 620 despite the provision of only a small number or even only one main supply orifice 625.

The gas exiting the outlet holes 620 flows both radially inwardly and outwardly. The air flowing radially inwardly up the outlet 614 is effective to form a seal between the  
10 seal member 12 and the substrate W. However, it has been found that the seal is improved if a further flow of air is provided by a further inlet 617. Passage 630 is connected to a gas source, for example the atmosphere. The flow of air radially inwardly from the inlet 615 is effective to draw further gas from the further inlet 617 towards the outlet 614.

An annular groove 633 which is provided at the end of the passage 630 (rather  
15 than a series of discrete inlets) ensures that the sealing flow of gas between the inner most edge of the groove 633 and the outlet 614 is even around the whole circumference. The groove is typically 2.5 mm wide and of a similar height.

The inner most edge 635 of the groove 633 is, as illustrated, provided with a radius to ensure smooth flow of the gas through passage 630 towards the outlet 614.

20 The outlet 614 also has a continuous groove 640 which is approximately only 0.7 mm high but 6 to 7 mm wide. The outer most edge 642 of the groove 640 is provided as a sharp, substantially 90°, edge so that the flow of gas, in particular the flow of gas out of further inlet 630 is accelerated to enhance the effectiveness of the gas seal. The groove 640 has a plurality of outlet holes 645 which lead into an annular chamber 647 and thus to  
25 discrete outlet passage 649. The plurality of outlet holes 645 are approximately 1mm in diameter such that water droplets passing through the outlet holes 645 are broken up into smaller droplets.

The effectiveness of liquid removal of the seal member 12 can be adjusted by an adjustable valve 638 connected to the further inlet 617. The valve 638 is effective to adjust  
30 the flow through further inlet 617 thereby to vary the effectiveness of liquid removal of the gas seal 12 through outlet 614.

The overall diameter of the seal member is of the order of 100 mm.

Figure 11 shows, in plan, the underside of the seal member 12 of Figure 10. As

-22-

can be seen, the inlet 615 is provided as a plurality of discrete inlet holes 620. This is advantageous over the use of a groove for the main inlet 615 because a groove as an air bearing has a capacity (because of the compressible nature of gas) such that vibrations can be set up in such a system. Small diameter inlet holes 620 have a lower volume of gas in them and therefore suffer less from problems arising from capacity.

The use of a further inlet 617 in the form of a groove 633 can be used to ensure a continuous gas flow around the whole circumference of the seal member 12 which would not necessarily be possible when only using discrete inlet holes 620. The provision of the outlets 645 as discrete entities is not a problem because of the provision of the groove 640 which is effective, like chambers 647 and 622, to even out the flow.

The inlets for liquid are not illustrated in the seal member 12 of Figures 10 and 11. The liquid may be provided in the same manner as illustrated in the foregoing embodiments or, alternatively, any of the liquid inlets and outlets as described in European Patent Application Nos. 03256820.6 and 03256809.9.

15

#### Embodiment 7

The seventh embodiment is similar to the sixth embodiment except as described below. Figure 12 is a plan view of the underside of the seal member 12 similar to that shown in Figure 11. In Figure 12 the seal member is not provided with a further inlet as in the sixth embodiment though this can optionally be added.

The seal member 12 of the seventh embodiment comprises a gas bearing 715 formed by inlet holes 720 and which is of the same overall design as the sixth embodiment. The inlet 714 comprises an annular groove 740 with only two passages 745, 747 which lead to a gas source and a vacuum source respectively. In this way a high speed flow of gas from the gas source connected to passage 745 towards the vacuum source connected to passage 747 can be established. With this high speed flow of gas, immersion liquid can be drained more effectively. Furthermore, by creating a larger restricted vacuum flow in the vacuum chamber, flow fluctuations due to variations in the height of the seal member 12 above the substrate W or other leakage sources in the surface will not influence the vacuum chamber pressure providing the preload for the gas bearing.

30

### Embodiment 8

5

The eighth embodiment will be described in relation to Figure 14 and is the same as the first embodiment except as described below.

As can be seen from Figure 14, the eighth embodiment has a seal member 12 with an inlet 815 and an outlet 814 just like the first embodiment. However, a further inlet 817 is  
10 provided which is arranged so that a jet of gas can be formed which increases the velocity of the gas on the surface of the substrate W below or marginally radially outwardly of the outlet 14 so that immersion liquid is more effectively removed from the surface of the substrate W. The further inlet 817 has an exit provided by a nozzle which is directed towards the substrate W at an angle radially inwardly towards the projection system PL.  
15 Thus, the otherwise laminar air flow (with a Reynolds number of around 300) between the inlet 815 and the outlet 814 and which has a simple parabolic speed distribution with a zero speed on the surface of the substrate, which cannot remove the last few micro meters of liquid film from the wafer, is improved because the further inlet 817 ensures that gas with a higher air velocity is in contact with the substrate surface.

20 From Figure 14 it can be seen that the exit nozzle of the further inlet 817 is provided radially outwardly of the outlet 814 but closer to the outlet 814 than to the inlet 815.

25

### Embodiment 9

The ninth embodiment is illustrated in Figures 15 and 16 and is the same as the first embodiment except as described below.

30 In the ninth embodiment the mouth of the outlet 914 in the bottom surface of the seal member 12 which faces the substrate W, is modified to increase the velocity of air into the outlet 914. This is achieved by reducing the size of the mouth of the inlet 914 whilst keeping the passageway of the outlet 914 the same size. This is achieved by providing a



-24-

smaller mouth by extending material of the seal member 12 towards the center of the passage to form an outer addition member 940 and an inner additional member 950. The outer additional member 940 is smaller than the inner additional member 950 and the gap between those two members 940, 950 is approximately 20 times smaller than the remainder of the outlet 914. The mouth is approximately 100 to 300  $\mu\text{m}$  in width.

In Figure 16 a further alternative version of the ninth embodiment is depicted in which a further inlet 917 similar to the further inlet 817 of the eight embodiment is provided. However, in this case the further inlet 917 provides a jet of flow substantially parallel to the surface of the substrate W so that the gas entering the mouth of the outlet 914 is accelerated.

#### Embodiment 10

The tenth embodiment is illustrated in Figure 17 and is the same as the first embodiment except as described below.

In the tenth embodiment the efficiency of liquid removal is improved by increasing the velocity of gas on the surface of the substrate W along the same principles as in the eight embodiment. Gas leaving inlets 1015 and moving radially inwardly towards an outlet 1014 passes underneath an annular groove 1018. The effect of the groove, as illustrated, is for the gas to enter the groove on its radially outer most side and to exit it, with an angle towards the substrate W, on the radially inward side. Thus, the speed of the gas on the surface of the substrate W at the entrance to the outlet 1014 is increased and liquid removal efficiency is improved.

It will be clear that features of any embodiment can be used in conjunction with some or all features of any other embodiment.

Whilst specific embodiments of the invention have been described above, it will be appreciated that the invention may be practiced otherwise than as described. The description is not intended to limit the invention.

CLAIMS:

1. A lithographic projection apparatus comprising:
  - a radiation system for supplying a projection beam of radiation;
  - a support structure for supporting patterning means, the patterning means serving to pattern the projection beam according to a desired pattern;
  - a substrate table for holding a substrate;
  - a projection system for projecting the patterned beam onto a target portion of the substrate; and
  - a liquid supply system for at least partly filling a space between the final element of said projection system and said substrate with a liquid, characterized in that said liquid supply system comprises:
    - a seal member extending along at least a part of the boundary of said space between the final element of said projection system and said substrate table; and
    - a gas seal means for forming a gas seal between said seal member and the surface of said substrate.
2. Apparatus according to claim 1, wherein said gas seal means is a gas bearing for supporting said seal member over said substrate.
3. Apparatus according to claim 1 or 2, wherein said gas seal means comprises a gas inlet and a first gas outlet formed in a face of said seal member that opposes said substrate, means for supplying gas under pressure to said gas inlet and vacuum means for extracting gas from said first gas outlet.
4. Apparatus according to claim 3, further comprising a further inlet connected to a gas source and positioned between said first gas outlet and said gas inlet.
5. Apparatus according to claim 4, wherein said further inlet comprises a continuous annular groove in a surface of said seal member facing said substrate.
6. Apparatus according to claim 5, wherein a radially innermost corner of said groove

has a radius.

7. Apparatus according to any one of claims 3 to 6, wherein said first gas outlet comprises a continuous annular groove in a surface of said seal member facing said substrate.
8. Apparatus according to any one of claims 3 to 7, wherein said first gas outlet and/or said gas inlet comprise chambers between said means for supplying and said vacuum means respectively and an opening of said inlet or outlet in said surface which chamber provides a lower flow restriction than said opening.
9. Apparatus according to any one of claims 3 to 8, wherein said gas inlet comprises a series of discrete openings in a surface of said seal member facing said substrate.
10. Apparatus according to any one of claims 3 to 9, wherein a porous member is disposed over said gas inlet for evenly distributing gas flow over the area of said gas inlet.
11. Apparatus according to any one of claims 3 to 10, wherein said seal member further comprises a second gas outlet formed in said face of said seal member that opposes said substrate, said first and second gas outlets being formed on opposite sides of said gas inlet.
12. Apparatus according to any one of claims 3 to 11, further comprising means for varying the level of a portion of said face between said first gas outlet and said gas inlet relative to the remainder of said face.
13. Apparatus according to any one of claims 3 to 12, further comprising means for varying the level of a portion of said face between said first gas outlet and an edge of said face nearest said optical axis relative to the remainder of said face.
14. Apparatus according to any one of claims 3 to 13, wherein said gas seal means comprises a channel formed in said face and located nearer to the optical axis of the projection system than said first gas outlet.

-27-

15. Apparatus according to claim 14, wherein said channel is a second gas inlet.
16. Apparatus according to claim 15, wherein said channel is open to the environment above the level of liquid in said space.
17. Apparatus according to any one of claims 3 to 16, wherein said gas inlet is located further outward from the optical axis of said projection system than is said first gas outlet.
18. Apparatus according to any one of claims 3 to 17, wherein said gas in- and out-lets each comprise a groove in said face of said seal member opposing said substrate and a plurality of conduits leading into said groove at spaced locations.
19. Apparatus according to any one of claims 1 to 18, further comprising sensors for measuring the distance between said face of said seal member and said substrate and/or the topography of said substrate.
20. Apparatus according to any of claims 1 to 19, further comprising control means to control the gas pressure in said gas seal means to control the stiffness between said seal member and said substrate and/or the distance between said seal member and said substrate.
21. Apparatus according to any one of the preceding claims, wherein the gap between said seal member and the surface of said substrate inwardly of said gas seal means is small so that capillary action draws liquid into the gap and/or to prevent gas from said gas seal means entering said space between said projection system and said substrate.
22. Apparatus according to any one of the preceding claims, wherein said seal member forms a closed loop around said space between said projection system and said substrate.
23. A lithographic projection apparatus comprising:
  - a radiation system for supplying a projection beam of radiation;
  - a support structure for supporting patterning means, the patterning means serving to pattern the projection beam according to a desired pattern;

- a substrate table for holding a substrate;
- a projection system for projecting the patterned beam onto a target portion of the substrate; and
- a liquid supply system for at least partly filling a space between the final element of said projection system and said substrate with a liquid, characterized in that

said space is in liquid connection with a liquid reservoir through a duct, and the minimum cross sectional area of said duct in a plane perpendicular to the direction of fluid flow is at least  $\pi \left( \frac{8\Delta V \eta L}{\pi \Delta P_{\max} t_{\min}} \right)^{1/2}$  where  $\Delta V$  is the volume of liquid which has to be removed from said space within time  $t_{\min}$ ,  $L$  is the length of the duct,  $\eta$  is viscosity of liquid in said space and  $\Delta P_{\max}$  is the maximum allowable pressure on said final element.

24. The apparatus of claim 23, wherein said space is enclosed such that when liquid is present in said space, said liquid has no free upper surface.

25. A lithographic projection apparatus comprising:

- a radiation system for supplying a projection beam of radiation;
- a support structure for supporting patterning means, the patterning means serving to pattern the projection beam according to a desired pattern;
- a substrate table for holding a substrate;
- a projection system for projecting the patterned beam onto a target portion of the substrate; and
- a liquid supply system for at least partly filling a space between the final element of said projection system and said substrate with a liquid,

characterized in that said liquid supply system further comprises on a top surface of liquid in said liquid supply system, suppression means for suppressing development of waves and including pressure release means.

26. Apparatus according to claim 25, wherein said suppression means comprises a flexible membrane.

27. Apparatus according to claim 25 or 26, wherein said suppression means comprises a mesh such that the maximum area of said top surface of said liquid is equal to the mesh

opening.

28. Apparatus according to claim 25, 26 or 27, wherein said suppression means includes a safety valve for allowing the passage of liquid above a certain pressure therethrough.

29. Apparatus according to claim 25, wherein said suppression means is a high viscosity liquid which is immiscible with said liquid.

## 1. ABSTRACT

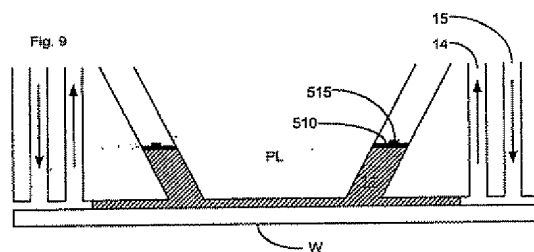
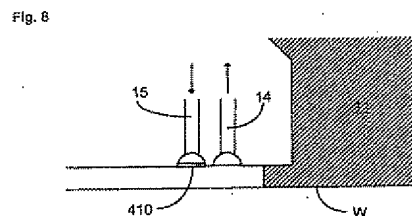
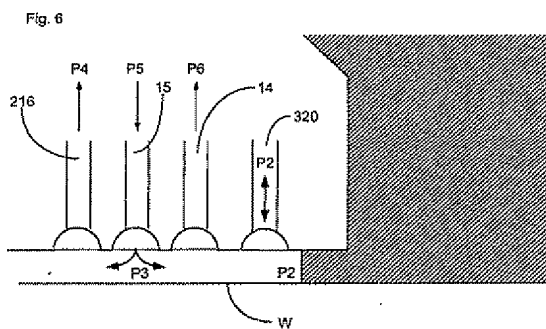
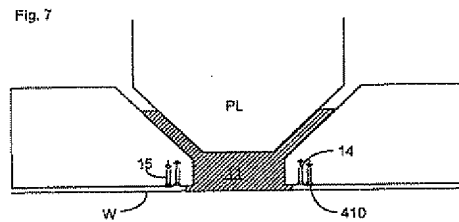
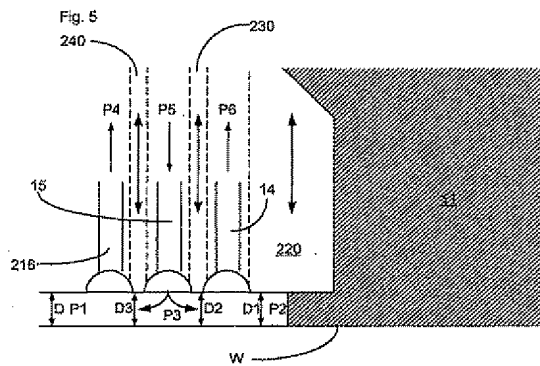
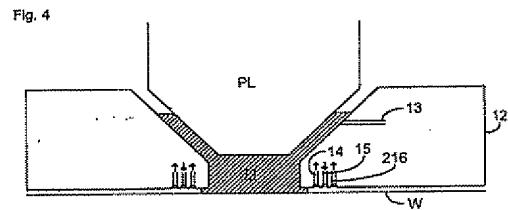
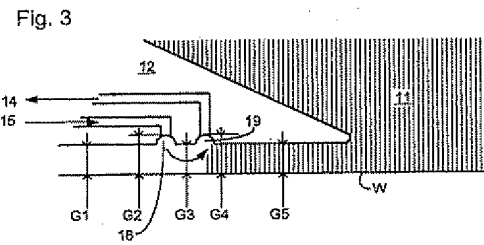
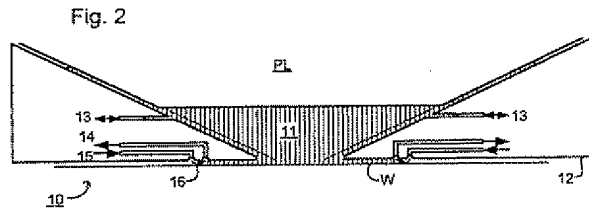
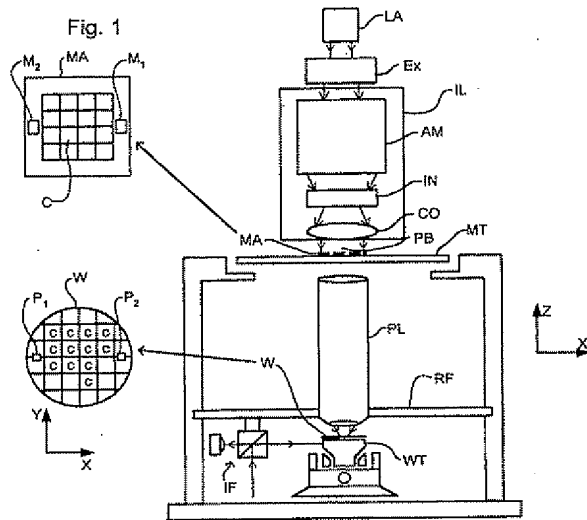
### Lithographic Apparatus and Device Manufacturing Method

In a lithographic projection apparatus a seal member surrounds a space between the final element of a projection system and a substrate table of the lithographic projection apparatus. A gas seal is formed between said seal member and the surface of said substrate to contain liquid in the space.

5

## 2 Representative Drawing

Fig. 2



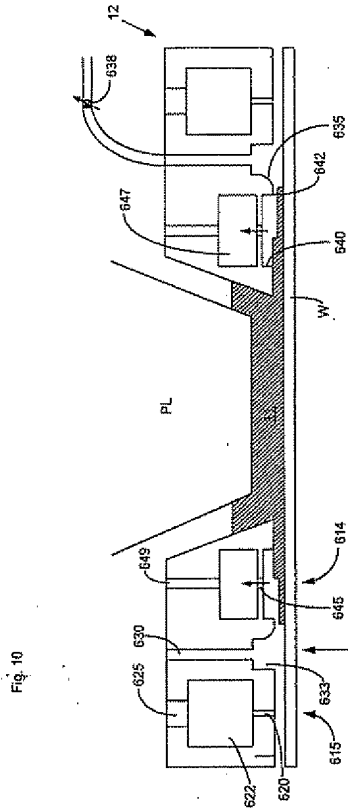


Fig. 11

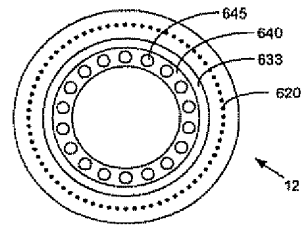


Fig. 12

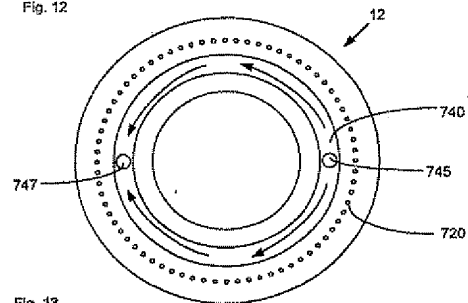


Fig. 13

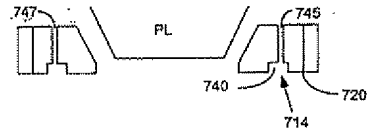


Fig. 14

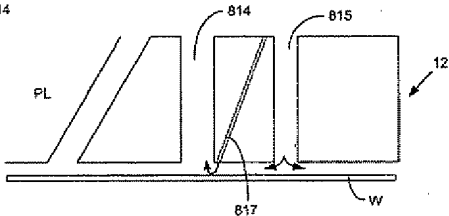


Fig. 15

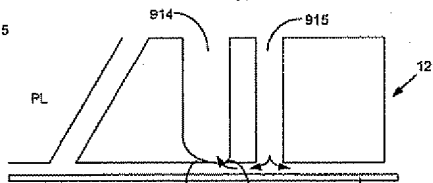


Fig. 16

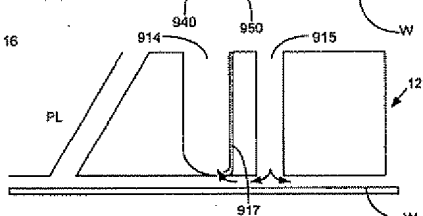


Fig. 17

